

精密装甲器材包装箱的优化设计及其堆码形式的抗压性能分析

吴月华, 臧艳, 孟令东, 谭俊, 乔玉林
(装甲兵工程学院, 北京 100072)

摘要: **目的** 对包装箱进行优化设计, 并分析其不同堆码形式下的抗压性能。**方法** 设计精密装甲器材包装箱的规格以及堆码形式的优化方案, 并用有限元分析法分析不同堆码形式下包装箱箱体抗压性能。**结果** 优化设计的 5 种规格的包装箱在单独堆码和混合堆码形式下, 其箱体的最大应力和最大变形均小于线形低密度聚乙烯材料的拉伸屈服应力。**结论** 优化设计的 5 种规格包装箱在不同堆码形式下箱体的抗压性能满足精密装甲器材包装的性能要求。

关键词: 包装箱; 堆码形式; 有限元分析; 抗压性能

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)15-0134-05

Optimization Design of Precision Armored Equipment Packing Box and Compressive Performance of Its Stacking Form

WU Yue-hua, ZANG Yan, MENG Ling-dong, TAN Jun, QIAO Yu-lin
(Academy of Armored Force Engineering, Beijing 10072, China)

ABSTRACT: This work aims to carry out optimization design of packing box and analyze its compressive performance under different forms of stacking. Specifications of precision armored equipment packing box and optimum proposal of its stacking form were designed. Compressive performance of packing box under different stacking forms was analyzed by finite element method. Either in a separate stacking form or in mixed stacking form, the maximum stress and maximum deformation of all the 5 optimized kinds of packing box were less than the tensile yield stress of linear low density polyethylene material. In conclusion, the compressive performance of all the 5 kinds of packing box under different stacking forms can meet the packaging performance requirements of precision armored equipment.

KEY WORDS: packing box; stacking form; finite element analysis; compressive performance

装甲装备器材包装是器材储存、运输与保障的基础性工作, 是我军技术保障工作中的一个重要组成部分^[1-3]。精密装甲器材由于具有自身价值和技术含量高等特点, 其防护要求极为严格, 而目前精密装甲器材的包装与普通装甲器材的包装在包装材料、包装结构上采取基本相同的方法, 致使精密装甲器材对储存环境的适应性差, 也缺

乏可靠防护^[4-8]。包装箱规格与性能的优化设计是实现精密装甲器材的可靠、通用、方便包装封存的基础工作^[9-10], 为了保证包装箱内的精密装甲器材在堆码、运输、仓储过程中不受损坏, 须对优化设计的精密装甲包装箱在堆码、运输等过程中承受的静载压力进行测试, 以便更好的保护包装箱内装的精密装甲器材^[11]。如果采用物理测试方法对包装箱

收稿日期: 2016-01-04

基金项目: 军队计划项目 (BS311J033)

作者简介: 吴月华 (1975—), 男, 山东德州人, 装甲兵工程学院工程师, 主要研究方向为包装工程。

的各项性能进行测试,存在着成本高、结果具有随机性和粗糙性等缺陷^[12]。采用有限元分析法对包装箱箱体结构及堆码形式的抗压性能进行模拟测试,该方法被证实是一种有效的手段^[13—14]。文中根据装甲精密器材的实际情况,优化设计了通用性好、可靠性高、可模块化组合的 5 种规格的包装箱,利用有限元分析法,分析了包装箱单独堆码和混合堆码时箱体的最大承受力,以求获得精密装甲器材包装箱的抗压性能是否满足实际服役环境的要求。

1 包装箱规格的优化设计与材料选择

通过对目前使用的 1240 种精密装甲器材的统计,发现包装箱的尺寸规格多达 290 种,精密装甲器材包装箱尺寸主要是“量体裁衣”,即根据包装

零件的数量尺寸制作相应规格的包装箱,这就造成包装箱的尺寸规格过多、过杂,不利于装甲器材包装封存的标准化,系列化和模块化。结合目前包装箱的尺寸,根据装甲器材存储必须具有通用性、物流适应性、使用方便性、平战一体性以及可模块化组合等原则,对现有一定尺寸范围内的包装箱规格进行优化设计,并设计出 5 种规格的精密装甲器材包装箱,其技术参数见表 1。

线形低密度聚乙烯是一种热塑性高分子材料,其分子量高、支化度小、力学性能优异,同时又具有优良的电绝缘性、耐低温性、易加工成型性以及优异的化学稳定性和介电性能,已作为包装材料广泛应用^[15—16],因此选择线形低密度聚乙烯作为精密装甲器材包装箱材料,其密度为 0.932 g/cm³,弹性模量为 600 MPa,拉伸屈服强度为 16.8 MPa。

表 1 包装箱的技术参数
Tab.1 Technical parameters of packing box

箱号	外廓尺寸/mm	内廓尺寸/mm	箱体壁厚/mm	额定承载质量/kg	箱体质量/kg	堆码层数
1	400×300×200	310×210×120	5	15	5	14
2	400×300×400	310×210×320	5	20	6.5	7
3	600×400×400	510×310×280	6	30	11	7
4	800×600×600	710×510×450	6	45	24	5
5	1200×800×600	1110×710×450	7	70	40	5

2 包装箱堆码

2.1 堆码设计

1) 包装箱单独堆码。根据装甲器材的储运现状,设计堆码总高度不超过 3.0 m,以此来进行堆码层数的设计。1—5 号包装箱堆码层数分别设计为 14, 7, 7, 5, 5 层,则堆码总高度分别为 2800, 2800, 2800, 3000, 3000 mm。

2) 包装箱的混合堆码。混合堆码形式设计为 5 层结构,堆码高度设计为 2.2 m。第 1 层: 5 号箱 1 个;第 2 层: 4 号箱 2 个;第 3 层: 3 号箱 4 个;第 4 层: 2 号箱 8 个;第 5 层: 1 号箱 8 个。包装箱的堆码设计示意图 1。

2.2 箱体的抗压性能

由于包装箱在堆码、运输过程中需要承受较大的静载压力,因此包装箱以及堆码形式的抗压性能就成为设计中必须考虑的重要内容,在不同堆码形

式下应对包装箱箱体抗压性能进行有限元计算与分析。文中采用 Ansys Workbench 软件,以 5 号包装箱单独堆码为例进行有限元计算与分析,其他 4 种型号包装箱在单独堆码和混合堆码时箱体抗压性能的有限元计算与分析相类似。

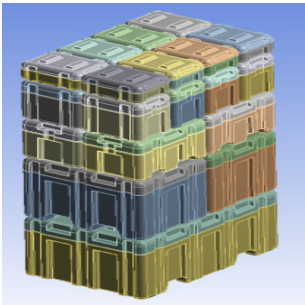


图 1 包装箱混合堆码形式
Fig.1 Mixed stacking form of packing boxes

2.2.1 包装箱的加载类型

由于货物的形状不同,货物作用于包装箱底面的作用力也不同。根据包装箱载货的不同,货物作用于包装箱底面的作用力即作用在箱底的载荷,表述为 3 种加载方式:把货物重量均布加载在内底面

凸起叉槽表面上(以下简称为方式1);把货物的重量均布加载在箱体底面上(以下简称为方式2);载荷是在包装箱底面凸起叉槽表面的货物作用点(面)上(以下简称为方式3),见图2。

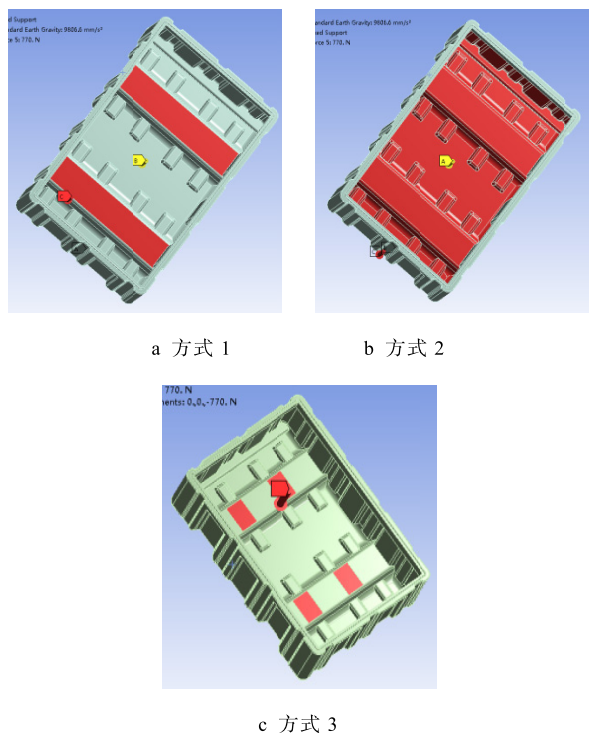


图2 载荷加载方式
Fig.2 Loading method

2.2.2 输入材料特性及网格划分

包装箱为箱体结构,壁厚为7 mm。由于包装

箱上提手等配件对箱体承载力的影响较小,为简化计算,对箱体上的配件忽略不计,只对箱体结构进行网格划分。网格生成采用自适应网格划分方法,单元尺寸为9 mm。所得到的网格单元分析模型具有860 294个节点,2 746 797单元。

2.2.3 设定载荷及边界条件

因为5号箱体较大,所以载荷加载考虑3种加载方式,载荷加载方式见图2。由于去掉了提手、锁扣等配件,包装箱的自重减轻,故在包装箱装货重量上增加配件的重量(以下类似计算载荷),5号箱的堆码形式为5层结构,底层箱体的底面与地面接触,设定底层箱体的底面与地面为固定约束。底层箱体上面的4层箱子的总质量(含箱子的质量和承载质量)为440 kg。每层箱子施加的载荷大小为770 N,方向垂直于箱底面。

2.2.4 计算结果

采用Workbench自带的求解器对其进行计算,得到箱体堆码整体结构的等效应力、应变和最大变形,其结果见表2。可以看出,5号包装箱单独堆码时最大应力为13.196 MPa,出现在次底层箱体的底部;最大变形为3.2606 mm,出现在最底层的箱体侧面。由于所选择的线形低密度聚乙烯材料的拉伸屈服应力为16.8 MPa,而5号包装箱单独堆码时最大应力和最大变形都小于材料的拉伸屈服应力,因此,这种堆码形式满足包装箱5层堆码形式的要求。

表2 5号箱堆码箱体最大等效应力、应变与最大变形
Tab.2 Maximum equivalent stress, strain and maximum deformation of No.5 packing box

载荷加载方式	最大等效应力/MPa	最大等效应变/%	最大变形 x/mm	最大变形 y/mm	最大变形 z/mm
方式1	13.196	2.4325	0.97993	3.2279	2.5728
方式2	13.049	2.4015	0.96888	3.2345	2.3488
方式3	13.035	2.3996	1.0029	3.2606	2.8018

用Ansys Workbench软件,采用与5号包装箱类似的计算方法,分别对1—4号包装箱单独堆码以及混合堆码的箱体抗压性能进行有限元静力分析,其计算结果见表3。通过表2和3计算结果的比较与分析可知,在所有的5种包装箱单独堆码结构和1种混合堆码结构形式中,最大等效应力为13.196 MPa,最大应变为2.4325%,两者均出现在5号包装箱单独堆码的次底层箱体的底部;

最大变形为4.2789 mm,出现在混合堆码的底层,其等效应变为1.1371%。包装箱选用的材料为线性低密度聚乙烯,其拉伸屈服强度为16.8 MPa,则在所有的5种包装箱单独堆码和1种混合堆码形式中,最大等效应力和最大变形均小于线性低密度聚乙烯材料的拉伸屈服强度,由此可见,所设计优化的5种型号包装箱在单独堆码和混合堆码时其抗压性能均满足实际要求。

表 3 1—4 号包装箱单独堆码及混合堆码有限元计算结果
Tab.3 Finite element calculation results of No.1-No.4 packing boxes under separate and mixed stacking forms

堆码方法	载荷加载方式	最大等效应力/MPa	最大等效应变/%	最大变形 x/mm	最大变形 y/mm	最大变形 z/mm
1 号	方式 1	11.111	1.9659	0.57685	0.95809	2.371
	方式 2	10.202	2.1147	0.56829	1.0545	2.2071
2 号	方式 1	4.7225	0.82398	0.5574	1.3369	1.3599
	方式 2	4.6923	0.85092	0.57427	1.3097	1.3348
3 号	方式 1	4.7225	0.824	0.55909	1.3369	1.3599
	方式 2	4.6923	0.851	0.57427	1.3097	1.3348
4 号	方式 1	3.6713	0.800	0.31754	1.1313	1.1518
	方式 2	3.7173	0.809	0.31307	1.1428	1.1428
混合堆码	4 号	方式 1	7.6417	1.641	1.6411	0.765
		方式 2	7.5249	1.6139	1.5552	0.72634
	5 号	方式 1	5.9095	1.113	2.2092	4.2038
		方式 2	5.7822	1.1371	2.1226	4.2789

3 结语

通过对目前精密装甲器材包装箱的尺寸规格分析,优化设计出 5 种规格的精密装甲器材包装箱。根据装甲器材的储运现状,设计了 5 种型号包装箱单独堆码和 1 种混合堆码形式。采用 Ansys Workbench 软件,分别对不同堆码形式下箱体的抗压性能进行计算与分析,发现在所有的 5 种包装箱单独堆码和 1 种混合堆码形式中最大等效应力为 13.196 MPa,最大应变为 2.4325%,最大变形为 4.2789 mm,均小于线性低密度聚乙烯材料的拉伸屈服强度 16.8 MPa,因此,所设计优化的 5 种型号包装箱在单独堆码和混合堆码时其抗压性能均满足实际要求。

参考文献:

[1] 孟令东,梁志杰,乔玉林,等. 装甲装备器材保养包装模式研究与体系建设[J]. 包装工程, 2012, 33(1): 126—129.
MENG Ling-dong, LIANG Zhi-jie, QIAO Yu-lin, et al. Mode Study and System Construction of Maintenance Packaging of Armored Equipment[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 126—129.

[2] 明波,杨学强,王玉栋. 装甲装备器材包装防护研究[J]. 包装工程, 2003, 24(6): 25—27.
MING Bo, YANG Xue-qiang, WANG Yu-dong. Protection Research on the Packaging of Armored Equipments[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(6): 25—27.

[3] 孟令东,梁志杰,乔玉林,等. 装甲装备器材保养包装平台的构建[J]. 包装工程, 2009, 30(9): 71—73.
MENG Ling-dong, LIANG Zhi-jie, QIAO Yu-lin, et al.

On Construction of Maintenance Packaging Platform for Armored Equipment[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(9): 71—73.

[4] 明波,陈春良,梁斌. 自然环境条件下精密器材的失效机理及其对策研究[J]. 装备环境工程, 2005, 2(3): 75—78.
MING Bo, CHEN Chun-liang, LIANG Bin. The Failure Mechanism of Precision Equipment in Natural Environment and Its Countermeasure[J]. Metal Forming Technology, 2005, 2(3): 75—78.

[5] 唐艳秋,张建伟,王福成. 防锈防护组合技术在装备器材防锈封存中的应用[J]. 包装工程, 2014, 35(3): 117—122.
TANG Yan-qi, ZHANG Jian-wei, WANG Fu-cheng. Application of the Rust Protection Combination Technology in the Equipment Preservation[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 117—122.

[6] 李子繁,孙红旗,郭宝华. 综合防护包装技术在武器装备中的应用[J]. 包装工程, 2009, 30(10): 59—61.
LI Zi-fan, SUN Hong-qi, GUO Bao-hua. Application of Integrated Protection Packaging Technology in Ordnance[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(10): 59—61.

[7] 杨世坚,沈咏梅. 外军军事装备封存包装技术研究[J]. 包装工程, 2006, 27(3): 74—76.
YANG Shi-jian, SHEN Yong-mei. Study of Seal and Storage Packaging Technology of Foreign Military Equipment[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(3): 74—76.

[8] 周克兵,梁志杰,孟令东,等. 军用器材新型封存材料应用研究[J]. 中国表面工程, 2006, 19(5): 250—253.
ZHOU Ke-bing, LIANG Zhi-jie, MENG Ling-dong, et al. A Study on New Sealing-up Materials For Military Equipments[J]. China Surface Engineering, 2006, 19(5): 250—253.

[9] 魏薇,肖敏,何建新. 军用包装箱材料自然环境老化

- XPS 研究[J]. 装备环境工程, 2008, 5(5): 42—44.
- WEI Wei, XIAO Min, HE Jian-xin. Study on Natural Weathering Behavior of Plastics Ammunition Package[J]. Equipment Environmental Engineering, 2008, 5(5): 42—44.
- [10] 孙华, 史俊荣, 冯唯斌. 军用塑料包装箱注塑过程内应力研究[J]. 塑料工业, 2011, 39(S1): 101—103.
- SUN Hua, SHI Jun-rong, FENG Wei-bin. Study on the Internal Stress of Military Plastic Packing Box in Injection Molding Process[J]. China Plastics Industry, 2011, 39(S1): 101—103.
- [11] 何自芬, 张印辉. 基于有限元法的包装箱抗压性能研究[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 39—41.
- HE Zi-fen, ZHANG Yin-hui. Study of Compression Resistance of Packaging Box Based on Finite Element Method[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 39—41.
- [12] 段艳健, 钱怡. 基于 ANSYS Workbench 的瓦楞纸箱抗压性能仿真研究[J]. 包装工程, 2012, 33(9): 23—26.
- DUAN Yan-jian, QIAN Yi. Simulation Study of Compression Strength of Corrugated Box Based on ANSYS Workbench[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 23—26.
- [13] 赵子东, 张建礼, 刘兴民, 等. 基于有限元分析的某型弹药包装箱结构优化设计[J]. 包装工程, 2013, 34(11): 59—62.
- ZHAO Zi-dong, ZHANG Jian-li, LIU Xing-min et al. Optimum Design of Certain Ammunition Packaging Box Structure Based on Finite Element Analysis[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(11): 59—62.
- [14] 黄鹏, 郝志明, 黎维芬, 等. 火烧环境下包装箱结构的热响应有限元模拟[J]. 固体力学学报, 2013, 33(S1): 247—251.
- HUANG Peng, HAO Zhi-ming, LI Wei-fen, et al. Thermal Response Simulations of the Packing Container in Fire Environment Using the Finite Element Method[J]. Chinese Journal of Solid Mechanics, 2013, 33(S1): 247—251.
- [15] 刘秋菊, 李旭阳, 陈国伟, 等. 阻隔性高分子复合材料研究与应用进展[J]. 塑料科技, 2013, 41(7): 104—109.
- LIU Qiu-ju, LI Xu-yang, CHEN Guo-wei, et al. Research and Application Progress on Barrier Polymer Composites[J]. Plastic Science and Technology, 2013, 41(7): 104—109.
- [16] 郑好晗, 臧艳, 赵海朝, 等. 盐雾试验对 PE 基真空包装材料阻隔性能的影响[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 47—50.
- ZHEN Hao-han, ZANG Yan, ZHAO Hai-chao, et al. Influence of Salt Spray Test on the Barrier Properties of PE Based Vacuum Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 47—50.