

关于战术导弹防护包装设计与试验要求的探讨

李家良, 赵耀辉, 李月平, 张学金

(中国兵器工业第 59 研究所, 重庆 400039)

摘要: 根据战术导弹的产品特征、寿命期剖面、寿命期环境剖面以及作战使用要求, 在分析和对比国内外战术导弹防护包装特点的基础上, 提出了我国战术导弹防护包装设计与试验要求, 供战术导弹产品设计、包装研制以及标准化研究人员参考, 也可供其他通用弹药产品设计和包装改进人员参考。

关键词: 战术导弹; 包装设计与试验; 包装要求

中图分类号: TB482; TJ765.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)23-0095-06

On Design and Test Requirements for Tactical Missile Protective Packaging

LI Jia-liang, ZHAO Yao-hui, LI Yue-ping, ZHANG Xue-jin

(59 Research Institute of Ordnance Industry, Chongqing 400039, China)

Abstract: The characteristics, life cycle profile, life cycle environmental profile, and operational features of tactical missiles were introduced. The characteristics of protective packaging of tactical missiles in foreign and domestic were analyzed and compared. The packaging design and test requirements for tactical missile were put forward. The purpose was to provide reference for missile designers, packaging designers, standard researchers, and also, other munitions products and packaging designers.

Key words: tactical missile; packaging design and test; packaging requirement

我国战术导弹的研发能力和制造技术已经有了长足的发展,但是,对于战术导弹防护包装应具有的技术要求却至今缺乏统一认识,防护包装研制过程中应遵循的原则由于种种原因尚不能得到认真贯彻。为了确保战术导弹这种高技术装备的长储可靠性,确保其寿命期各流通环节对装卸运输和管理的勤务适应性,确保其在现代战争战场条件下的生存能力和使用的方便性,通过对外军同类产品防护包装特点的分析,结合多年来从事战术导弹防护包装结构设计的实践,提出了战术导弹防护包装设计要求,希望能够引起战术导弹型号产品的研制单位、生产单位、部队勤务部门以及使用单位的重视,共同推进武器装备防护包装的技术进步,满足部队现代化建设的发展需要。

1 战术导弹防护包装应具有的性能

战术导弹的防护包装应具有的性能,依据不同型号的产品特征、不同的寿命期剖面 and 寿命期环境剖面

面^[1]以及具体型号产品的使用特点,而有不同的要求。这些性能要求包括但不限于下列各项:储存期要求;环境适应性要求;密封性及气压平衡与调节要求;湿度控制与指示要求;缓冲性能要求;其他防护要求(如静电防护、电磁防护、辐射防护、核生化生存能力等);可靠性要求;安全性要求;维修性要求;人机工程要求;单元货载要求;标志与代码要求;订购方需要的其它要求(如隐身与伪装、空运与空投、海上转运交付等)。

从以上所列各项性能要求不难看出,战术导弹的防护包装与战术导弹产品本身所应具备的性能要求(功能要求除外)有很多是相同的,至少从字面上看是相同的,例如,储存期要求、环境适应性要求、可靠性、安全性、维修性、人机工程要求等等,但是,毕竟针对的对象不同,一个是针对导弹产品,一个是针对产品的防护包装,对象不同,战技指标和相应的检测试验方法自然也不一样。

导弹防护包装性能要求,有些应该在产品论证之初提出,例如,依据其寿命期剖面 and 寿命期环境剖面,

收稿日期: 2011-07-08

作者简介: 李家良(1956—),男,重庆人,中国兵器工业第 59 研究所高级工程师,主要从事包装结构设计和包装材料研究

提出应该具有的环境适应性要求;依据作战使用特点,提出使用要求等等。

另一些性能要求,则要通过产品研制方和包装研制方在研制过程中紧密配合,密切协同,才能最终确定。例如对于导弹武器系统的瞄具,如果能设计成拆卸式结构(战斗准备时快速装配),则解决缓冲防护就容易得多。如若不然,势必增加缓冲保护的难度,同时也增加了包装的费用。

2 制定技术要求应把握的原则

2.1 强调多功能综合防护

导弹及其发射控制系统属于高技术武器装备。对这类兵器的防护包装,除了传统意义上的“三防”(防潮、防锈、防霉)外,必须强调多功能综合防护,以对应日趋严酷的现代战争战场环境,确保这类高技术装备的长储可靠性、战场环境适应性以及战场生存能力。

强调对导弹的多功能综合防护包装,要求导弹的研制单位和包装研制单位密切协同、紧密配合,依据具体型号的产品特征、寿命期环境剖面,提出科学合理的防护包装战术技术要求,最终实现通过产品自身的包装防护来确保产品的设计功能,尽量减少对储存环境的过分依赖。

装备的包装是装备不可缺少的一部分,在导弹的包装上是最完整最具体的体现。筒装导弹的包装筒同时就是导弹的发射筒。导弹的储运发射箱,既是导弹的运输储存容器,又是导弹的发射武器。导弹的防护包装伴随着导弹的全寿命期,有必要在多功能综合防护上多下功夫。

2.2 强调适应军事物流的现代化

传统的弹药包装立足于人力搬运装卸。随着部队机械化、信息化建设的发展,传统的弹药包装已经不适应部队现代化建设的需要。20世纪80年代,59所曾针对通用弹药的包装改革,提出过通用弹药包装的系列化方案^[2-3]。该方案凝聚了弹药包装领域军内外几代人的智慧和心血,受到有关领导和专家的高度评价。方案力主迅速改变弹药包装的混乱局面,提高防护性和使用方便性,满足机械化装卸运输和储存管理要求,适应部队的快速反应。2010年,总装军械所等军内单位对该方案作了进一步的补充完善,正式将其纳入“弹药包装通用规范”(GJB 1444A)。该方案中,导弹的包装属于一个单独的包装系列。对导弹

的内包装防护、外包装和运输包装结构都有明确的规定。特别值得一提的是,随着具有中国特色的新军事变革的快速发展,后勤保障领域的军事物流现代化呈现出跨越式发展的大好局面。在弹药包装领域,包装的标准化程度差,不能适应装卸运输的机械化和管理的信息化,已经对军事物流现代化构成了障碍。导弹的防护包装应充分考虑这一现状,严格按 GJB 1444A 中规定的系列化包装结构形式进行防护包装设计。

2.3 其他原则

根据美军在武器装备防护包装设计上的成功经验,以及近年来国内外在产品开发设计理念上的更新,导弹的防护包装设计应贯彻下列几项设计原则。一是并行或同步原则,即装备的防护包装研制设计与装备研制同步,一道进行评审,一道通过鉴定^[4]。二是“三化”原则,即通用化、系列化、组合化。这一原则在武器装备的研制中贯彻得很好,但在装备的防护包装研究方面还有待加速转变观念。三是“五位一体”原则,即包装的设计必须同时考虑包装、装卸、运输、储存和使用。四是轻量化原则,即包装设计应使包装所占体积最小、重量最小。包装设计原则还有很多,例如环境友好原则、可持续发展原则、创新原则,军用包装还应包括寓军于民原则等,但前述几项原则是最重要的。近年来,随着设计理念的更新,面向成本的设计(DFC)的理念正在各领域推广。这一新的设计理念完全适用于兵器装备的防护包装设计。通过将上述设计原则纳入导弹的防护包装设计要求,规范包装研制单位的设计行为,从而确保装备质量,降低寿命期综合成本,缩短研制周期,满足部队的需要。

3 防护包装技术要求主要指标确定思路

3.1 包装储存期

导弹包装的储存期是一个有争议的问题。它与导弹的储存可靠性(或可靠储存寿命)密切相关。对于导弹的储存可靠性,除了通过弹药产品的可靠性设计来满足长储可靠性要求之外,以往单纯追求改善储存环境条件来满足储存可靠性要求,正确的做法应该是既要改善储存环境条件,又要强化包装防护,而且以强化包装防护为主。因为导弹毕竟是要经历它的全寿命期到达作战环境,发挥它的设计功能,包装防护对其全寿命期的各个环节具有决定性的作用。各种自然的诱发的环境因素,都首先作用在包装上。包

装的防护功能决定着弹药的可靠性(在弹药满足可靠性设计的前提下)。由于包装承受着弹药全寿命期各种自然的和诱发的环境因素的综合作用,它的储存期可能远低于弹药产品按标准长储条件设计的可靠储存寿命。

对于导弹包装的储存期,以往要么不作规定(例如,WJ 2048—1991《反坦克导弹武器系统包装设计要求》),要么规定了年限,而将储存环境规限定在特定条件下,且相互之间又没有连贯(例如,GJB 1444A—2010(送审稿)《弹药包装通用规范》规定,弹药包装在后方仓库储存为10年,部队仓库条件储存为5年,野战仓库条件储存为1年)。没有储存期要求是不对的,任何产品都有储存期,或称货架寿命。有储存期要求而将其限定在特定条件下也是不对的,它不符合弹药这种特殊装备的寿命期剖面。此外,无论是在GJB 1444A中,还是在近年来对某些型号的导弹产品包装设计下达的技术要求中,对于在储存期内衡量包装是否有效地保护了弹药,都以“弹药能够正常使用”为指标。似乎很有道理,但实际上它混淆了包装防护可靠性和弹药可靠性二者之间的关系。衡量弹药包装在经过多次装卸转运并经多种环境条件下的长期储存是否仍能有效地保护弹药,主要应看它是否仍具有要求的防护功能,例如,外包装是否破损、缓冲是否依然有效、密封是否失效、防护剂是否有效、干燥防潮包装中湿度指示剂是否在规定范围内等等。

美军标准 MIL-STD-1904A(AR)1992《A级弹药包装设计与试验要求》规定:“所有弹药包装均应设计成在有防护有控制环境中储存20年,并且在无防护无控制的环境中储存2年仍具有防护功能而无性能降低”(见该标准4.1.1)。可以看出,美军弹药包装的储存期是22年(20+2),确定其有效性是看包装的防护功能是否有效。

根据多年来在战术导弹防护包装研究设计的实践,参照美军对弹药(包括战术导弹)包装储存期的规定,在刚刚完成的《导弹密封防护包装设计要求》行业标准(征求意见稿)中,对导弹的包装储存期规定了2种情况,即后方仓库+野战弹药库(10+1)^[5]和部队库房+野战弹药库(5+1),其储存有效性均以包装仍应具有所要求的防护功能为依据。

3.2 防护方法

GJB 145A中,对防护方法共规定有6类:I类——物理和机械防护;II A类——防潮;II B

类——防水;III类——可剥涂层;IV类——充氮;V类——干燥防潮。导弹宜采用干燥防潮方法。其理由一是导弹精密特点所决定;二是兵器行业多种型号导弹近20余年包装实践的防护效果;三是这种方法在国际上也是该类产品通用的防护方法,是实践证明了的有效的防护方法。

3.3 湿度控制

在导弹包装中,湿度控制的方式一般分为一级和二级2种方式。一级控湿主要用于箱装导弹和固定尾翼导弹;二级控湿则用于筒装导弹(携行类导弹)。

筒装导弹的包装,根据历年来各型导弹型号总师单位下达的防护包装设计技术要求,导弹在便携状态的使用期限一般为6个月。导弹处于待发状态而未发射,要求恢复为便携状态时,密封内包装的湿度控制对导弹的防护便起着关键的作用。国内外对该类导弹的包装均采用二级控湿的方式来解决导弹便携状态的防护问题。二级控湿指通过密封内包装和密封外包装2级来实现对筒装导弹有效的湿度控制。密封内包装由导弹发射筒附加相关的密封防护件构成。密封内包装加密封外包装共同构成完整的导弹密封防护系统,实现导弹的长期储存防护。这种二级控湿防护方式,已经经过多种型号导弹长期贮存的验证,证明其防护是可靠的。箱装导弹和固定尾翼导弹由于使用条件不同,其密封防护包装与筒装导弹是不同的,采用一级湿度控制即可满足导弹的防护要求。

鉴于2种控湿方式存在差异,导弹产品在下达包装设计时应该予以明确。

3.4 干燥剂用量

干燥剂用量按下列公式计算:

$$m = 20 + V + 0.5D \quad (1)$$

式中: m 为干燥剂用量(g); V 为包装容器的内部容积(L)(取量值); D 为包装内含湿性材料质量(包括纸、衬垫、缓冲材料等)(g)。

$$m = \frac{1}{K} K_1 365 RAY \quad (2)$$

式中: m 为干燥剂用量(g); K 为温度25℃、相对湿度50%条件下干燥剂的吸湿率(%); K_1 为根据储运地区气候的温、湿度条件,一般取安全系数2~5; A 为包装容器表面积(m²); R 为温度40℃、相对湿度90%的条件下包装容器的透湿度(g/(m²·24h)); Y 为预定的贮存时间(即下次更换干燥剂的时间)(a)。

式(1)来源于GJB 145A,主要针对密封刚性金属

容器。式(2)基于容器或材料实测透湿度进行计算,主要针对除密封刚性金属容器外的所有密封非金属容器(包括密封防潮袋),这个公式为导弹防护包装研制过程中常用的计算公式。

3.5 气压平衡调节

按 GJB 2017—1994 的规定,凡容积大于 0.006 m^3 (6 L) 的密封刚性专用容器都应设置气压调节阀^[6]。我国在导弹的包装要求中尚未对此明确规定,而这一要求是应该明确规定的。

按美军规范的规定,气压调节阀在室温环境下应能耐受 $2\,500$ 次循环^[7]。我国对气压调节阀尚无标准规定,只能参照该美军规范进行检测。

气压调节阀作为调节包装容器内外气压平衡的一种装置,在军用装备包装中已经得到了广泛应用,其功能主要是保证容器的密封性不被破坏,确保产品长储过程中始终处于受控的干燥微气候环境中。

3.6 磁场屏蔽

对于带磁的导弹产品,为了防止在空运时对飞机仪表产生干扰,一般规定在距包装件外部 2.1 m 处的磁感应强度应小于 $0.525 \mu\text{T}$ (5.25 mGs)^[8]。该指标美军在 MIL-D-46845B(1976)《导弹武器系统的包装与装箱设计要求》和 MIL-STD-648D(2008)《专用运输容器设计准则》中均有规定。国内在导弹包装中也已经执行多年,到目前为止还没有人提出异议。

3.7 包装材料

关于软质防潮防静电材料。为了满足防潮防静电的要求,材料的水蒸气透过率应小于 $0.31 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$ ^[9],内层表面电阻应大于等于 $1.0 \times 10^5 \Omega$ 并小于 $1.0 \times 10^{12} \Omega$ ^[9]。

缓冲材料除了应强调具有较好的缓冲吸震性能外,对于接触产品表面的缓冲材料还应对防静电性能作出相应规定,明确表面电阻值应为静电耗散段,即表面电阻仍应为大于等于 $1.0 \times 10^5 \Omega$ 并小于 $1.0 \times 10^{12} \Omega$ ^[9]。

干燥剂是密封包装容器内的吸湿材料,目前弹药包装中常用的是硅胶和分子筛。虽然近年来推出了部分新型吸湿材料,如中科院长春应化所研制的“新型有机高效干燥剂”,其吸湿率是普通硅胶的 2 倍,但这种新型材料还未经过全面的长储验证。因此,在导弹包装设计要求中主要推荐使用成熟的、可靠的吸湿材料。

对外包装材料的选用无须特别规定,以便于包装

设计人员对外包装材料有更大的选择范围。

3.8 包装结构形式

导弹包装设计应要求应对导弹的包装结构形式予以明确,以便于实现包装结构的标准化。目前常规战术导弹产品的包装结构形式主要为如下几种。

1) 筒装导弹包装结构为:密封内包装筒(发射筒)+密封防潮袋+运输容器+托盘(托架);密封内包装筒(发射筒)+密封刚性非金属或金属容器+托盘(托架)。

2) 箱装导弹(含固定尾翼导弹、储运发射一体化导弹)包装结构为:密封刚性非金属或金属容器+托盘(托架);密封防潮袋+运输容器+托盘(托架)。

筒装导弹主要特点是用于单兵作战,包装必须考虑携行要求。携行状态利用发射筒为载体,通过发射筒上的密封防护件共同组成密封防护系统,发射之前保证导弹在筒内处于微控制环境。当需要从发射状态恢复携行状态时,设置于筒(盖)内的分子筛能很快恢复筒内的微气候环境,使导弹重新处于密封防护状态。运输包装有 2 种形式:一种是直接使用密封外包装,外包装既密封又能满足储运要求;另一种是运输包装较为简单,只要求具有装卸储运功能,不具有密封性,密封功能通过发射筒与运输包装之间的软质密封防潮袋来实现。我国目前携行导弹的包装基本都采用这 2 种形式。多年来的实践已经证明防护效果完全能满足导弹的贮运和使用要求。

对于固定尾翼导弹和贮运发射一体化的箱装导弹,这 2 类导弹重量和体积都较大,一般采用车载或直升机发射。其防护包装宜采用一级控湿密封,将控湿密封与储运功能集为一体。这 2 类导弹的防护包装不仅要满足机械化装卸运输和储存的要求,同时还应具有良好的气密性以及其它综合防护功能。

在导弹的外包装设计,外包装尺寸应尽量符合 GJB 182A—2000《军用物资直方体运输包装尺寸系列》的规定,根据需要和可能尽量组合成托盘或托架作为储存运输单元。组合设计应尽量适应 GJB 1918—1994《托盘单元货载》的要求。目前,我国的弹药包装大多未考虑托盘(或托架)组合,致使弹药包装完全依赖人力装卸搬运,无法实现后勤仓储管理作业的机械化,不仅变相加大了后勤综合费用,更为重要的是不利于部队作战时的快速反应。托盘(托架)集装设计理念必须融入导弹的防护包装设计,以期在导弹的防护包装上适应高技术战争中快速反应的要求。

3.9 密封刚性容器

密封刚性容器应明确其容器的密封性和透湿度要求,对导弹包装用刚性容器的透湿度和密封性一般规定为密封刚性容器透湿度应小于 $1.0\text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 30\text{d})$,或经 30 d 交变湿热试验后,包装内的相对湿度应不大于 $60\%^{[9]}$;密封性能满足充正压 20 kPa,30 s 应无泄漏的要求。

3.10 设计验证

在导弹包装设计要求中,应对设计验证作相应规定,明确验证试验项目、试验方法和合格标准,使设计人员有章可循。根据国内外相关标准规定和多年的

军用包装研制的实践以及产品流通过程的特殊要求,对导弹包装的设计验证项目及验证方法推荐按表 1—3 要求确定。全过程必做项目 14 项,选做项目 4 项,除“跌落试验”要求作了特别的规定外,其余全部要求均可按国军标规定执行。

关于跌落试验项目,根据导弹包装自身特点以及近年来导弹型号项目研制中的具体要求,对跌落强度值和跌落姿态作了相应的调整,见表 2—3。实践证明,这些调整符合我国实际,能够满足导弹产品的包装防护要求,在导弹包装研制设计中具有较强的可操作性。

500 km 的公路运输试验为可选验证项目,可参

表 1 设计验证试验项目*
Tab.1 Design validation test items

序号	验证试验项目	方案阶段 (验证性)	工程研制阶段		备 注
			初样机 (验证性)	正样机 (鉴定性)	
1	内包装材料相容性试验	○	●	—	GJB 772A—1997 或 GB/T 16265—2008
2	盐雾试验	○	●	—	GJB 150.11A—2009
3	霉菌试验	○	○	—	GJB 150.10A—2009
4	电磁干扰衰减检测	—	●或△	—	GJB 2605—1996 中 4.7.17
5	热封封合强度检测	—	●	—	QB/T 2358—1998
6	堆码试验	—	○	●	GJB 2711—1996 中方法 13
7	机械装卸试验	—	○	●	GJB 2711—1996 中方法 8
8	振动试验	—	○	●	GJB 2711—1996 中方法 11
9	温度冲击试验	—	○	●	GJB 150.5A—2009
10	湿热试验	—	○	●	GJB 150.9A—2009
11	密封性试验	—	○	●	GJB 2711—1996 中方法 16 中程序 5.2
12	真空保持试验	—	○	●	GJB 2711—1996 中方法 16 中程序 5.1
13	淋雨试验	—	○	●	GJB 150.8A—2009
14	自由跌落试验	—	○	●	按表 1、表 2
15	水平冲击试验	—	—	●	GJB 2711—1996 中方法 4
16	500 km 公路运输试验	—	—	△	按 GJB 1444 中规定
17	大型运输包装件倾翻试验	—	—	△	针对体积较大的完整包装件
18	托盘单元货载试验	—	—	△	按相关要求进 行,正制定有关不准
19	模拟空投试验	—	—	△	GJB 4403—2002 中 5.5

* :●必选项目;○选检项目;—不检项目;△按试验大纲执行

表 2 跌落高度优选值*
Tab.2 Drop hight optimum value

包装件质量/kg	包装件长、宽、高或直径任一尺寸/mm	跌落高度/mm	备 注
<30	<1000	900	
30~40	1000~1100	700	
40~50	1100~1300	500	
50~100	1300~1600	400	
>100	>1600	300	

* : 跌落高度优选值适用于包装单独定型和包装随导弹武器系统定型。

表 3 跌落状态
Tab.3 Drop status

包装状态	跌落部位	跌落次数
包装件储运状态	包装件主轴水平(底面)	1
	包装件主轴与垂直方向成 45°角(底面端部一棱)	1
	包装件底部一角	1
筒装导弹携行状态	包装筒(发射筒)主轴水平方向	1
	包装筒(发射筒)主轴与垂直方向成 45°角(筒底棱边)	1

照 GJB 1444A《弹药包装通用规范》的要求进行,也可以按相关标准要求用模拟运输试验代替。空投试验和大型运输包装件倾翻试验按型号项目的要求确定。关于弹药托盘单元化的设计及检测试验要求,相关标准正在制订过程中。导弹包装一经组合成托盘(托架),必须经过相应的检测和试验。

4 结语

导弹防护包装设计要求是规范导弹包装设计的指导性文件,它的制订将极大地提高导弹包装设计的可靠性以及对包装、装卸、运输、贮存、使用的适应性,希望导弹产品设计部门以及产品勤务及使用部门(军方)共同参与讨论,加速该规范的编制、审定、颁行、宣贯并实施。

(上接第 94 页)

军用包装标准和部门包装标准近 200 项,基本建起了具有我军特点的包装标准体系,但目前包装标准的整体水平和配套性与迅速发展的军品包装工作还不适应,有关集装化包装、综合防护包装和储运方面的标准缺口较大,军品包装的标准化、系列化程度还普遍偏低,标准的推广应用力度不够^[2]。今后在继续做好部分重要标准修订的同时,应加强有关功能包装材料、综合防护包装技术、包装集装化、包装信息化等方面标准的规划和制订。

4 结语

现代战争后勤保障能力的建设对军品包装各项功能提出了更新更高的要求,而现代高技术的发展和应用又为军品包装实现这些功能创造了必要的条件,这两方面的共同作用对今后军品包装功能的扩展将产生重要影响。为此要转变传统观念,自上而下形成

参考文献:

[1] GJB 4239—2001,装备环境工程通用要求[S].
[2] 李家良,张学金. 通用弹药包装系列化方案[J]. 包装工程 1989,10(1):1—5.
[3] 金荣久,李京,葛强. 弹药包装系列化方案研究[J]. 包装工程 2004,25(2):71—74.
[4] GJB 1181—1991,装备及系统包装装卸储存与运输大纲[S].
[5] 孙振武,弹药包装基本要求评述[J]. 包装工程,1988,19(3):1—3.
[6] GJB 2017—1994,专用包装容器设计准则[S].
[7] MIL-STD-27166E(2008),气态产品压力平衡阀[S].
[8] WJ 2048—1991,反坦克导弹武器系统包装设计要求[S].
[9] GJB 1444A—2010,弹药包装通用规范[S].
[10] GJB 145A,防护包装方法[S].

共识,结合我军实际,充分利用现有条件,重视军品包装工作,为提高现代战争后勤保障能力和遂行多样化军事任务奠定坚实的基础。

参考文献:

[1] 王书琴. 中国军事后勤百科全书 后勤理论卷 基本概念 后勤保障能力[M]. 北京:金盾出版社,2002.
[2] 鞠国良. 高技术局部战争对军品包装的影响及对策[J]. 中国包装,2001(6):44—45.
[3] 张春和. 论军品包装标准化与单元化对现代军事物流的影响[J]. 物流技术,2010,29(21):133—135.
[4] 黄晓霞. 军用保障与快速反应的包装技术[J]. 包装工程,2008,29(5):146—147.
[5] 张春和,马维平,王晓春,等. 军用车辆器材防护包装现状及发展对策[J]. 包装工程,2009,30(9):31—35.
[6] 姜作军,郭宝华,马宏亮,等. 信息技术对未来军品包装发展的影响[J]. 包装工程,2002,23(3):85—89.