

精确空投缓冲气囊材料研究

黄刚^{1,3}, 李良春²

(1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2. 军械技术研究所, 石家庄 050000;
3. 75234 部队, 广东 东莞 523638)

摘要: 介绍了精确空投着陆缓冲的作用原理以及对气囊材料的要求, 分析了聚酰胺、聚酯纤维 2 种气囊织物材料和氯丁橡胶、硅酮 2 种涂层材料的结构性能及发展, 总结了当前主要的新材料技术, 提出了着陆缓冲气囊材料的发展趋势。

关键词: 缓冲气囊; 精确空投; 气囊材料; 发展趋势

中图分类号: TQ630.7 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)05-0066-04

Study of Cushion Airbag Material for Precision Airdrop

HUANG Gang^{1,3}, LI Liang-chun²

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. Ordnance Engineering Institute, Shijiazhuang 050000, China;
3. 75234 unit of PLA, Dongguan 523638, China)

Abstract: The cushion principle of precision airdrop landing and its requirements for airbag material were introduced. The structure, performance, and development of two airbag fabric materials polyamide (PA) and polyester and two coat materials neoprene and silicone were analyzed. Several main new material technologies were summarized and the development trend of the landing cushion airbag material technology was put forward.

Key words: cushion airbag; precision airdrop; airbag material; development trend

气囊由于具有较小的质量、高效的缓冲性能和较高的经济性等特点, 已经广泛用于汽车安全、宇航登陆及空投着陆缓冲等方面。特别是随着我国国防现代化的进一步发展, 更加需要装备及物资的精确保障。精确空投即是精确保障最有效的方式, 解决

空投物资安全着陆为缓冲气囊提供了极大的发展空间。气囊材料和结构是决定气囊缓冲效果的关键因素, 我国对于汽车安全气囊的研究已经比较深入, 而对于精确空投着陆缓冲气囊材料的研究却很少。基于精确空投对气囊的特殊要求, 笔者对气囊的材料

收稿日期: 2011-03-26

作者简介: 黄刚(1985—), 男, 四川安岳人, 硕士研究生, 研究方向为通用装备物流工程及其应用。

通讯作者: 李良春(1967—), 男, 四川广安人, 博士, 高级工程师。

进行了分析研究。

1 着陆缓冲系统及主要的气囊形式

1.1 着陆缓冲系统作用原理

着陆缓冲系统是由传感器、计算机处理系统芯片、气体发生器(储气罐)和气囊4部分组成^[1]。当精确空投系统下落到一定高度时,由高度传感器将信号传递给处理芯片,由集成的处理器向气体发生器发出指令对着陆缓冲气囊进行充气,气囊展开,从而由气囊完成剩下的着陆缓冲任务,气囊就是整个着陆缓冲系统的核心。

1.2 精确空投对于气囊材料的性能要求

由于精确空投着陆缓冲气囊特殊的工作环境,对作为缓冲系统的主要功能的气囊提出了很高的性能要求。为了承受较高的压力,要求气囊具有较高的强度;为了能适用于各种复杂的地形环境,要求气囊具有较好的化学惰性、耐摩擦性、抗老化性能;为了使气囊能够快速、反复使用,要求气囊具有质量小、柔软性好、抗疲劳等特点^[2]。

根据试验分析,气囊材料应满足的性能要求有:抗拉伸断裂强度 $>300\text{ N/cm}$,面密度 $<380\text{ g/m}^2$,压差为 100 kPa ,室温时的透气量 $<1\text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot(24\text{ h})^{-1}\cdot 100\text{ kPa}^{-1}$ ^[3]。因此,囊体一般采用复合材料,由承力层和气密层构成。承力层主要承受囊体的全部强度,由纤维织物构成。作为基质的纤维织物结构形式一般为低支数低密度平纹布。气密层提供阻气性能,形式一般为在纤维布上粘合薄膜材料,这些薄膜材料为聚酯、聚乙烯、聚氨酯等。依据选材和使用要求的不同,复合材料囊体可采用2层、3层、5层等结构。

1.3 气囊的结构形式分类

气囊按结构形式主要分为2大类:涂层气囊和非涂层气囊(见表1)。涂层气囊主要是通过涂层来控制气囊的透气性,非涂层气囊则是通过织物的经纬密度和自身结构来控制透气性。这2大类总共分为4种:第1种是缝制型的聚氯乙烯涂层织物气囊,该种气囊也是最早的一种;第2种是缝制型的硅酮橡胶涂层织物气囊;第3种为缝制型非涂层气囊;第

4种是非涂层全成型气囊,该种气囊直接在织机上完成气袋的成形^[4]。

表1 涂层与非涂层气囊对比

Table 1 Comparison of coated airbag and non-coated airbag

性能	涂层气囊	非涂层气囊
透气可控性	可精确控制	较难控制
展开可控性	较易控制	难控制,容易粘合
阻燃性	良好	可燃
挺度	可变	中等柔韧、且不可变
裁剪和缝制	容易	困难
价格	较高	较低
重复使用性	困难	容易

2 主要的气囊材料

2.1 织物材料

目前可用作着陆缓冲气囊织物材料的主要有2类:聚酰胺(尼龙)长丝纤维与聚酯(涤纶)纤维。聚酰胺长丝种类繁多,其中,由于聚酰胺66具有热焓高、初始模量低和弹性好等性能,使得其织物在动态载荷作用下具有应力分布均匀、吸收能量大、抗冲击性能好等优点,一直被作为主要的气囊织物材料。近年来,随着织物材料技术的发展,聚酯纤维以其成本低、强度高、耐化学性好,受湿度变化的影响没有聚酰胺66明显等优点而逐渐被用于气囊织物的加工。聚酰胺66与聚酯纤维性能对比见表2。

表2 聚酰胺66与聚酯纤维性能对比

Table 2 Comparison of polyamide 66 and polyester fibers performance

性能参数	聚酰胺66	聚酯纤维
密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1.14	1.38
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	258	258
回潮率/%	3.8	0.4
熔化比热容/($\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$)	188	117

2.1.1 聚酰胺材料

聚酰胺(Polyamide,简称PA),是分子主链上含有重复酰胺基团 $[\text{NHCO}]$ 的热塑性树脂的总称,是当前气囊织物主要材料之一。主要品种是尼龙6

和尼龙66,其次是尼龙1、尼龙12等。尼龙66,具有机械强度高,软化点高,自润滑性,加工流动性好,尤其是摩擦系数低,耐磨损等性能特点^[5]。

20世纪70年代,美国通用汽车公司用840d尼龙制作的气囊袋是气囊的第一代产品。840d是密集型织物,质量非常小,并将氯丁橡胶涂覆在气囊织物的内表面上。织物表面之间涂了厚厚的滑石粉,其目的是便于操作、密封以及将气囊折叠贮藏于缓冲罩壳内时避免由于粘结而影响气囊的展开,但这种织物过于粗糙,内涂氯丁橡胶后过于笨重。后来,发展到在气囊内涂氯丁橡胶的420d尼龙织物,这是气囊织物的第二代产品的典型。由于420d的编织密度几乎比840d的密度提高了1倍,故强度得到了进一步提高。由于织物的粗糙度下降,相应地减少了为填满织线之间的空隙和保护织物所必需涂覆的氯丁橡胶的厚度,故气囊的厚度和质量下降。第三代气囊织物则是采用了强度更高、质量更小的260d尼龙。它最早出现在日本市场,后来进入美国市场。与第二代相比,它质量小、综合刚度降低、装配工作简单、气囊所占空间减小。从气囊织物的发展历程可以看出,用作气囊织物的尼龙材料正向着低旦数方向发展。

随着材料技术的发展,尼龙66高强度、耐高温等性能使其逐步成为气囊织物的主要材料,但是尼龙66价格昂贵,每吨约2万元人民币,是工业高强聚酯丝的2倍多。在最近几年又出现了许多聚酰胺类型的织物新材料,如尼龙6I,尼龙9T和特殊尼龙MXD6(阻隔性树脂)等。另外,尼龙材料又可以通过复合材料的合成技术来满足各种不同的特殊要求,比如:增强尼龙、芳香族尼龙、透明尼龙、高抗冲(超韧)尼龙、导电尼龙、阻燃尼龙、尼龙与其他聚合物共混物和合金等。

2.1.2 聚酯纤维材料

聚酯纤维是由多种二元醇和芳香族二元羧酸或其酯经缩聚生成的聚酯为原料所制得纤维的统称。具体品种有:聚对苯二甲酸乙二酯纤维,聚对苯二甲酸丁二酯纤维,聚对苯二甲酸丙二酯纤维,聚对苯二甲酸-1,4-环己二甲酯纤维,聚-2,6-萘二酸乙二酯纤维以及多种改性的聚对苯二甲酸乙二酯纤维。如:磷酸二苯基甲基苯基酯(CDP)和在常规涤纶二元单体的基础上增加少量3,5-间苯二甲酸二甲酯磺酸

钠作为第三单体,再增加少量的一定分子量的聚乙二醇作为第四单体,通过缩聚方式聚合,并经熔融纺丝所制得的涤纶新品种ECDP纤维等^[6]。

聚酯纤维产生于1941年,由英国的J.R.温菲尔德和J.T.迪克森用苯二甲酸和乙二醇为原料在实验室内率先研制成功,命名为特丽纶(Terylene)。在随后的几十年,由于聚酰胺的强劲发展势头,使得聚酯纤维作为气囊织物材料的推广应用一直十分缓慢。

20世纪70年代以后,聚酯纤维因为其成本低、强度高、耐化学性好、受湿度变化的影响没有聚酰胺66明显等优点逐渐受到重视,并开始被用于气囊织物材料的加工。

目前,聚酯纤维以其低成本、高强度、稳定的性能以及其加工处理和回收利用比起尼龙更加的简便、对环境的污染更小等突出的优势而得到充分的发展,逐步成为织物材料行业的主导。

2.2 气囊涂层材料

2.2.1 氯丁橡胶

氯丁橡胶是最早用作气囊涂层的材料,具有密封性好、化学性能稳定等特点。这种材料在很长一段时间内一直占着主导地位,但由于该种材料是一种热固性聚合物,用它作涂层材料的气囊很难再被回收利用。这是因为在能够熔化尼龙的温度下,氯丁橡胶将分解成一种不稳定的炭并释放出盐酸、氯、聚氯联苯等副产品。这些氯化物会腐蚀和分解尼龙聚合物,腐蚀金属部件。实验也证明,氯丁橡胶不能充分地、与尼龙相协调。氯丁橡胶置于一些高温、高寒等条件下易老化,放置一定时间后,它将变硬、变脆,丧失自身的很多性能。

2.2.2 硅酮

由于氯丁橡胶在耐用性上的缺陷,于是出现了第2种涂层材料——硅酮。硅酮适用于作气囊织物的涂层,其原因是:它具有高的环境稳定性,即当环境(温度)变化时,可保持其特性,甚至在高温时其性能仍很稳定;硅酮在化学性质上不活跃,不会影响与它接触的织物的性能;硅酮具有良好的耐磨性,经Wyzenbeek耐久性试验证实,涂覆硅酮的织物与涂覆氯丁橡胶的织物相比,试验后的强度分别为试验前的91%和86%,经Taber磨损性试验证实,二者的质量损耗分别为6mg和27mg^[7];硅酮涂层具有低摩擦

系数及良好的短时热阻力,可涂得很薄,但仍可提供良好的润滑性及对气囊织物的热阻力,使最轻的织物及最薄的涂层获得良好的性能成为现实,使气囊结构更紧凑,给设计、生产、使用提供方便;带有硅酮涂层的气囊可循环使用,不必花费多大成本就可使尼龙回收利用。正是由于硅酮涂层材料的诸多优点,使得硅酮成为了另一种主要气囊涂层材料。

3 气囊材料的新技术

随着材料技术的发展,特别是复合材料技术的发展和运用,在很大程度上推动了气囊材料的革新和发展。当前除了在气囊材料的创新上有了性能更好、稳定性更高的织物材料和涂层材料,还在气囊的制作工艺上有了更加长足的发展。

1) 多组分纤维材料。气囊织物材料会向着采用多组分原料的方向发展,以达到取长补短,改善其综合性能的目的。例如采用聚酯和聚酰胺分别为芯和皮层的皮芯型双组分纤维加工气囊织物,可改善织物的尺寸稳定性和耐热性。

2) 新型气囊织物材料。对于气囊的新材料技术有了最新突破的是PA纳米复合材料。这种纳米粒子材料填充量小,改性产品的密度几乎与基础晶级相同,其强度、柔性以及可靠性都有很大的提高,另外这种气囊材料是当前产量最大的工业化聚合物系纳米复合材料,其应用发展的前景十分广阔^[8]。几种高强工业聚酯纤维气囊材料性能参数见表3。表3中的SJB001, SJB002和SJB003是某国3种高强工业聚酯纤维气囊材料的牌号。

3) 新型气囊涂层材料。有机硅胶涂层是一种较新型的涂层材料,其原理是将液体有机硅橡胶涂

于气囊表层,可确保使用时气囊均匀展开,保护布料能承受高温和充气时的膨胀力。道康宁研制出一种新的布料涂层,使侧气囊能在触地压缩的过程中保持充气及增强其保护能力。另外,对于硅酮涂层材料的改性及加强等的相关研究也开展得很多。

4) 气囊制作工艺的革新。软膜成型是复合材料气囊成型的一种新颖的工艺,它可以克服模压成型和热压釜成型工艺的高能耗、设备昂贵等缺点,简化复合材料之间固化前的准备工序,气囊的柔性使得装、脱更加便利;在压力控制方面可实现人为控制,易于实现复杂构件的整体成型,降低复合材料的生产成本。

4 结语

气囊织物材料会向着多组分原料的方向发展,以达到取长补短,改善其综合性能的目的。另外,用于气袋织物加工的聚酰胺66长丝纱正向低旦数方向发展,以减小质量和利于回收利用。非涂层气囊随着纺织工艺的发展也会得到长足的发展,特别是对于技术复杂的全成型非涂层气囊,将是未来着陆缓冲气囊重点应用的另一个方向。科学技术的迅猛发展必将给材料技术带来革新,作为精确空投着陆缓冲的气囊材料在我国还处于起步阶段,在未来应用前景十分广阔。

参考文献:

- [1] 崔毅华. 气囊材料及其设计的研究[J]. 纺织学报, 2004, 25(6): 133—134.
- [2] 武冰, 王平, 李均平. 我国安全气囊袋用纤维的发展现状[J]. 合成纤维工业, 2005, 28(5): 76—80.

表3 几种高强工业聚酯纤维气囊材料性能参数

Table 3 Several high-strength industrial polyester airbag materials properties

项目	检验标准	SJB001	SJB002	SJB003
基布/支数		250 × 250	500 × 500	1 000 × 1 000
克重/(g·m ⁻²)	ASTM D3776	237	339	610
拉伸强度/(N·cm ⁻¹)	DIN 53354	850/750	1 100/800	2 000/1 500
撕裂强度/(N·cm ⁻¹)	DIN 53363	100/110	120/150	380/430
剥离强度/(N·cm ⁻¹)	DIN 53357	不能剥离	50	50
阻燃	NFPA701	合格	合格	合格
使用温度/℃	DIN 53372	-30 / 70	-30 / 70	-30 / 70

(下转第88页)

- Risk Assessment[M]. Printice-Hall, 1981:80—101.
- [5] KAWADA Yuichi. On the Relation between the Probability of Failure and Factor of Safety in the Designing of Machine Parts under Repeated Load[J]. Bulletin of the JSME, 1997, 20(142):403—410.
- [6] YANG Hui-jun, TIAN Run-liang, ZHAO Shi-yi. Study on Vibration Features, Safety and Reliability of Auto Loaded and Transported Ammunition [J]. Equipment environmental engineering, 2009, 6(6):24—31.

(上接第 69 页)

- [3] 刘卓峰,肖加余等. 芳纶基质飞艇气囊囊体材料的制备研究[J]. 高科技纤维与应用, 2006, 31(3):26—28.
- [4] 崔毅华. 空气袋织物加工技术的研究[J]. 上海纺织科技, 2003, 31(5):22—23.
- [5] 李能文,黄虹,李道喜. 碳纤维增强聚酰胺(PA/CF)复合材料的进展[J]. 精密成形工程, 2010, 2(6):47—50.
- [6] 李鹏. TPU 胶布及其在充气囊体材料中的应用[J]. 聚氨酯工业, 2006, 21(4):32—35.
- [7] 王国勇,赵亮. 复合材料气囊成型工艺的质量缺陷研究[J]. 宇航材料工艺, 2006(增刊 I):56—59.
- [8] 赵渠森. 先进复合材料手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2003:244.

(上接第 73 页)

参考文献:

- [1] 丰卫东. 海洋环境对金属材料的腐蚀及其评价方法[J]. 装备环境工程, 2005, (6):31—33
- [2] 孙明先. 舰船阴极保护技术的现状与发展[J]. 舰船科学技术, 2001, (2):44—46
- [3] 陈光章,吴建华,许立坤. 舰船腐蚀与防护[J]. 舰船科学技术, 2001, (2):79—82
- [4] 贾洪虎. 腐蚀防护与表面技术[J]. 军民两用技术与产品, 2002, (7):43—45
- [5] 郭为民,李文军,陈光章. 材料深海环境腐蚀试验[J]. 装备环境工程, 2006, (1):5—7
- [6] 陈锡雄. 防止海水腐蚀的措施与效果[J]. 电力建设, 2001, (05):36—37
- [7] 左昭武,崔俊荣,鲍承昌. 舰船腐蚀综合治理研究与应用[J]. 中国修船, 1998, (2):23—26
- [8] BROPHY A J. Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steels in Refinery Environments[J]. Materials Performance, 1974, 13(5):9—15.

(上接第 84 页)

参考文献:

- [1] 张喜发,卢兴华. 火炮烧蚀内弹道学[M]. 北京:国防工业出版社, 2001
- [2] 付光甫,侯运加,陈成德. 火炮制造与验收[M]. 1982.
- [3] 崔秀梅,张青锋. 火炮身管内径测量仪的结构设计[J]. 机械工程师, 2008(1):53—54.
- [4] 傅建平,张培林,李国章. 火炮身管寿命分析与计算[J]. 军械工程学报, 2000, 12(1):7—9.
- [5] 郑军,徐春广,肖定国,等. 火炮身管内表面综合测量系统研究[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(6):694—698.
- [6] 田桂军,袁亚雄,张小兵. 火炮寿命评估方法试验研究[J]. 南京理工大学学报, 2002, 26(6):608—611.
- [7] 刘海平,杜秀梅,赵建新. 基于 DEFORM 的火炮膛线表面应力分析[J]. 火炮发射与控制学报, 2005, (2):12—14.