

## 旋翼式空投系统及包装设计

罗护, 赵西友, 曾康斌

(空军空降兵学院, 桂林 541003)

**摘要:** **目的** 介绍一种新概念空投方式, 即旋翼式空投系统及包装设计。**方法** 结合自旋转翼气动力学分析旋翼空投系统工作原理, 并根据相关设计准则开展旋翼式空投系统关键件的包装设计研究。**结果** 自旋转翼气动升力是减缓空投物资下降速度的主要因素, 而合成气流的攻角在内侧大而在外侧小, 造成旋翼在整个翼面具有不同的功能分区。实验结果证明了旋翼空投系统减速原理的可行性。**结论** 旋翼空投系统具有成本低、包装快等优势, 是一种值得推广的新型空投装备, 同时应注重空投系统的包装设计。

**关键词:** 旋翼; 空投系统; 包装设计

**中图分类号:** TB482; V244 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)17-0034-04

## Rotary-blade Delivery System and Packaging Design

LUO Hu, ZHAO Xi-you, ZENG Kang-bin

(Air Force Airborne Academy, Guilin 541003, China)

**ABSTRACT:** The work aims to introduce a new concept airdrop equipment, namely the rotary-blade delivery system and its packaging design. The principle of the delivery system was analyzed based on rotary-wing aerodynamics; and the packaging design of key components was researched. Aerodynamic force on rotary wing was a key factor to slow down the airdrop system. The angle of attack of converged air flow was big inside and small outside. Relative air flow in different sections made different function divisions on the whole rotary wing. The experimental results confirmed the feasibility of this kind of the delivery system. In conclusion, low cost and fast packaging make the rotary-blade delivery system worth promoting. However, it is very important to pay attention to packaging design.

**KEY WORDS:** rotary-blade; airdrop system; packaging design

2008 年 5 月 12 日, 四川汶川发生特大地震地质灾害。地震发生后, 房屋、道路和桥梁遭到严重破坏, 受灾群众严重缺乏生活基本物资, 空投成为当时唯一的救援方式<sup>[1]</sup>。空军先后出动了各型运输机空投物资近 2000 t, 有效减缓灾情, 但是此次抗震救灾中, 空军仅空投伞具成本就高达千万余元。可见, 利用传统的降落伞进行物资空投, 无论是战时物资补给, 还是非战争军事行动中救

援物资的投送, 其消耗和成本都是相当高的<sup>[2]</sup>。此外, 伞降空投方式易受气候环境影响, 恶劣气候条件下投放容易造成空投物资散布度大、物资投放效率和成功率低等情况。传统空投的高成本和高消耗迫切需要寻求一种新概念空投装备, 为救灾和战略物资的补给提供了一种全新的解决方案, 旋翼式空投系统正是对采用降落伞传统空投系统的一种突破。

收稿日期: 2016-06-13

基金项目: 后勤装备科研计划 (BKJ10C009)

作者简介: 罗护 (1971—), 男, 湖南长沙人, 博士, 空军空降兵学院副教授, 主要研究方向为空降技术与装备。

## 1 旋翼式空投系统的组成

旋翼式空投系统不同于降落伞利用伞衣充气展开产生阻力减缓人员或物资的下降速度,它是利用旋转翼产生升力平衡重力从而减缓物资下降速度。旋翼式空投装置组成见图 1,其主要由稳定伞、旋翼、空投容器组成<sup>[3-5]</sup>。空投系统离机后,稳定伞首先充气张开。稳定伞主要有 2 个作用:稳定减速,降低空投物资离机后的速度,减缓大机速条件下旋翼展开工作时的过载;使空投系统保持良好的姿态以利于旋翼展开工作。稳定伞稳定一段时间后,稳定伞解除对旋翼的约束,旋翼展开到水平位置。旋翼在气动力作用下旋转并提供升力,当自旋运动达到匀速状态,升力达到最大值。当旋翼系统稳速自旋下落,升力与下落阻力的合力与空投系统重力达到平衡<sup>[6-7]</sup>。该装置其空投容器和旋翼都是硬纸板或者泡沫材料,成本非常低廉,而且具有较好的缓冲作用,特别适合包装需抗冲击的物资,如应用在矿泉水、食品、帐篷等救灾物资的空投中。

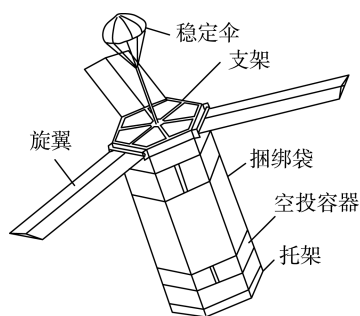


图 1 旋翼式空投系统组成

Fig.1 Structural composition of the rotary-blade delivery system

## 2 旋翼式空投系统的力学原理

旋翼的旋转动力来源于空气对旋翼的气动力,这就要求旋翼在安装时需要与其旋转平面之间有一定的夹角  $\theta$ ,称之为旋翼的安装角,见图 2。在空投系统下落旋翼旋转过程中,旋翼安装角使得气动力在旋转平面方向上的分量产生旋翼自转的动力,而旋翼自旋转又是产生升力的主要原因。

旋翼翼截面在空投系统自旋下落过程中受到两股气流的作用,见图 3。一股是平行于旋转轴的向上气流,在稳定下降过程中该气流基本保持不变,另一股是旋转相对运动气流,这股气流的大小与旋翼翼截面到旋转轴线的距离有着密切的关系。靠近旋

转轴线的翼截面线速度慢、相对运动气流小,相对运动气流与向上气流合成气流攻角大,而远离旋转轴线的翼截面线速度大、相对运动气流大,合成气流攻角小<sup>[8]</sup>。翼型产生升力的方向总是垂直于合成气流方向,而合成气流的攻角在内侧较大而在外侧较小,见图 4。这种现象造成了旋翼在整个翼面具有不同的功能分区,分别称之为失速区、驱动区和阻转区<sup>[9-10]</sup>。

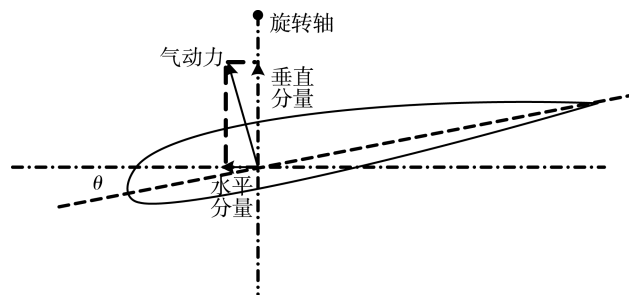


图 2 旋翼起转受力

Fig.2 Force of rotary-blade run-up

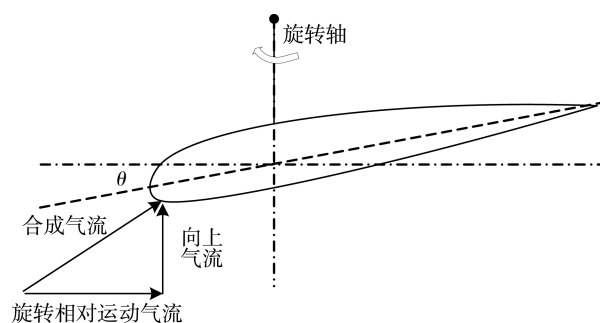


图 3 翼型表面的气流

Fig.3 Flow of airfoil surface

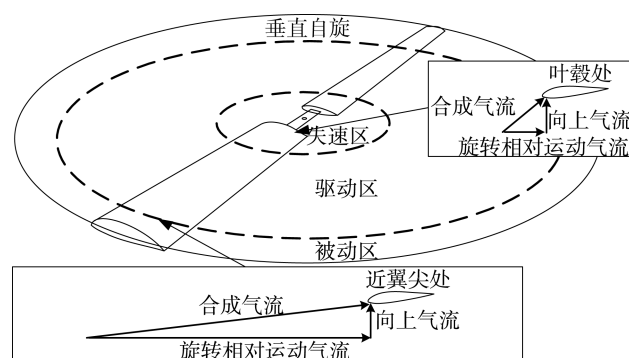


图 4 旋翼各部位攻角变化及分区

Fig.4 Change of angle of attack and function division of rotary-blade

1) 失速区。越靠近旋转中心的区域,由于旋翼翼截面周向运动的相对气流太小,以至于合成气流的迎角超过了翼型的升力极限,从而形成了失速区域。失速区对旋翼旋转产生阻力。

2) 驱动区。随着旋翼截面远离旋转中心,合成气流的迎角进入合适的升力产生范围。此时总气动力的前向分量在克服空气阻力保持旋翼转动的同时,产生了较大的向上分量,从而保证旋翼空投系统能够减速下降。扩大驱动区对于提高旋翼式空投系统的承载能力是有利的,驱动区的大小与旋翼的翼型、尺寸以及安装角等参数有着密切的关系。

3) 阻转区。靠近翼尖部分由于旋转线速度大,水平气流相对速度过大,造成阻力增大,同时翼尖空气流场复杂,对旋翼自转起阻碍作用,因此该区域称为被动区或者阻转区。

### 3 旋翼空投系统的包装设计<sup>[11]</sup>

#### 3.1 货舱

货舱主要目的是容纳空投物资,由于空投系统随着旋翼一起旋转,空投物资在货舱内承受较大的离心力,将对货舱侧壁造成较大的作用力,因此对空投货舱包装有两个要求:货舱纸箱具有足够强度,货舱结构设计要合理;物资在货舱内摆放要符合旋转体平衡配置原则。

货舱材料的选择可采用7层瓦楞纸箱或者蜂窝纸纸箱。蜂窝纸质轻、用料少,抗冲击性、缓冲性以及防潮能力均优于瓦楞纸,可作为货舱优先考虑的包装材料<sup>[12-13]</sup>。成品货舱设计成长方体结构,长宽比为2:1,这样适合装运旋翼、支架以及相关附件。空投时通过折叠长方体长方向可实现正六面体结构,六面体结构是自然界中一种最稳定的结构,适合存放更多的空投物资,同时在空投着陆时可以起到缓冲作用。货舱顶部和底部设计成活动活页,可以封闭货舱。货舱内部采取隔层纸板,隔层纸板设计为六边形,通过过盈设计固定空投物资,防止空投物资在货舱内运动。货舱底部安装正六面体的蜂窝纸起到进一步的缓冲作用<sup>[14]</sup>。

旋转体平衡配置原则:重物资如矿泉水放置在货舱底部;零散物资用收纳袋装好,袋口扎紧;物资在货舱内部应做好固定设计;物资摆放时尽量沿旋转中心轴均匀对称分布。

#### 3.2 旋翼支架及托架

旋翼及托架设计成钢架结构,可以减轻质量,增加强度并方便上下封闭货舱。旋翼支架与托架

结构基本相同,只是旋翼支架上装有供旋翼安装的耳轴,耳轴安装要求保证旋翼起旋时的安装角。旋翼支架和托架盖住货舱上下端口,并通过捆绑袋连接。捆绑袋是贯通式的口袋,口袋纵向有捆绑带,用于连接旋翼支架和托架,口袋横向有加强带,用于包裹货舱,进一步增强货舱的强度,防止货舱旋转时撕裂,同时保护纸质货舱空投时不被坚韧物戳伤。

#### 3.3 稳定伞

稳定伞的作用是用来稳定空投载荷体运动的姿态,减小旋翼展开时的冲击力,同时还可以代替引导伞,拔出捆绑旋翼的封口插销,解脱捆绑带对旋翼的束缚。稳定伞包装的要求是保证稳定伞能够可靠拉出,同时包装不影响稳定伞封口插销的拔出动作。稳定伞可采用帆布小伞包包装,伞包缝制在开伞拉绳上,并用牵顶绳连接稳定伞顶。

### 4 试验验证

2014年12月和2015年2月,分别在河南安阳对旋翼式空投系统进行了运5(空投机速180 km/h)和运7(空投机速300 km/h)飞机空投试验。根据理论分析和包装设计原则,旋翼式空投系统定型参数如下:货仓高度为900 mm,旋翼翼展直径为2050 mm,空投系统质量为5 kg,额定空投载荷为25~45 kg,空投高度为300 mm。试验中对空投系统加装了传感器分别测量高度、旋转速度和降落速度。试验结果:空投系统着陆速度为10.4~16 m/s,旋翼旋转速度为350~400 r/min,空投矿泉水瓶及物资着陆后均完好无损<sup>[15]</sup>。试验说明,旋翼空投系统减速原理是可行的,适合抗冲击物资的空投,同时,旋翼式空投系统适合多种机型的空投。

### 5 结语

旋翼空投系统具有成本低、包装快以及投放后散布度小的优点,是一种在救灾和紧急援救行动中值得推广的新型空投装备,同时旋翼空投系统包装及空投物资在货舱内的布局直接影响空投成败和效果,在研究旋翼式空投系统气动力学理论的同时,应该注重空投系统的包装设计。

## 参考文献:

- [1] 《国际航空》编辑部. 天灾面前更显空中力量[J]. 国际航空, 2008(6): 8.  
"International Aviation" Editorial Office. Aircraft Played a Key Role after Sichuan Quake[J]. International Aviation, 2008(6): 8.
- [2] 安理, 李东峰. 浅析汶川地震救灾军事行动中的装备保障[J]. 四川地震, 2008(4): 33—36.  
AN Li, LI Dong-feng. Analysis of Equipment Support in the Wenchuan Earthquake Rescuing Operations[J]. Earthquake Research in Sichuan, 2008(4): 33—36.
- [3] Drop Master Inc. Whiter Paper for Copter Box[EB/OL]. (2003-10-12)[2016-04-23]. <http://www.defensereview.com/copterbox-expendable-airdrop-delivery-system-for-ammo-food-meds-and-more>.
- [4] WARREN C V. Aerial Cargo Container Whith Deceleration and Orientation Assembly[P]. US: 6712317B1, 2004-3-30.
- [5] WARREN V C. Aerial Cargo Container[P]. US: 5947 4129, 1999-9-7.
- [6] 曹义华. 现代直升机旋翼空气动力学[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2015.  
CAO Yi-hua. Aerodynamic of Modern Helicopter Rotor[M]. Beijing: Beihang University Press, 2015.
- [7] 朱清华, 李建波. 自转旋翼气动特性分析及试验研究[J]. 实验流体力学, 2008, 22(3): 1—6.  
ZHU Qing-hua, LI Jian-bo. Analysis and Experimental Study on Aerodynamic Characteristics of Autorotating Rotor[J]. Experiments and Measure in Fluid Mechanics, 2008, 22(3): 1—6.
- [8] 朱清华, 李建波. 旋翼机总体设计的几个问题[J]. 航空科学技术, 2006(5): 28—32.  
ZHU Qing-hua, LI Jian-bo. Several Aspects of Gyroplane Design[J]. Aeronautical Science and Technology, 2006(5): 28—32.
- [9] 朱清华, 李建波. 旋翼机自转旋翼气动特性及跳飞性能研究[J]. 空气动力学学报, 2008, 26(3): 282—286.  
ZHU Qing-hua, LI Jian-bo. Study on Aerodynamic Characteristics of Auto Rotating Rotor and Jump Takeoff Performance of Gyroplane[J]. Acta Aerodynamica Sinica, 2008, 26(3): 282—286.
- [10] 王焕瑾, 高正. 自转旋翼机的历史、特点和优势[J]. 直升机技术, 2001(3): 22—28.  
WANG Huan-jin, GAO Zheng. The History, Property and Priority of the Gyroplane[J]. Helicopter Technology, 2001(3): 22—28.
- [11] 马存旺, 金延伟. 自转旋翼设计中的几个结构问题[J]. 飞机设计, 2013(4): 13—20.  
MA Cun-wang, JIN Yan-wei. Several Structure Designing Problems for Autogiro. Aircraft Design[J]. 2013, 22(4): 13—20.
- [12] 杨小俊, 张昌汉. 蜂窝纸板缓冲包装结构的性能[J]. 包装工程, 2008, 29(10): 74—76.  
YANG Xiao-jun, ZHANG Chang-ban. Characters of Cushioning Packaging Structure of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(10): 74—76.
- [13] 丁毅, 王嘉宁, 贾向丽. 重装备空投系统的缓冲包装设计[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 96—97.  
DING Yi, WANG Jia-ning, JIA Xiang-li. Cushion Design of Air Drop System for Heavy Equipment[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 96—97.
- [14] 杜振杰, 高万玉. 物资空投包装缓冲设计与分析[J]. 包装工程, 2016, 37(1): 29—32.  
DU Zhen-jie, GAO Wan-yu. Design and Analysis of Materials Airdrop Packaging Cushioning[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(1): 29—32.
- [15] 罗护, 沈军. 旋翼式空投系统及其相关理论研究[J]. 空军空降兵学院学报, 2013(5): 10—14.  
LUO Hu, SHEN Jun. Study on Rotary-blade Delivery System and Correlation Theories[J]. Journal of Air Force Airborne Academy, 2013(5): 10—14.