

文章编号: 1003-1480 (2022) 03-0006-04

一种推销切割多功能一体化结构的电切割器

刘永刚¹, 杨 旗¹, 孙士超¹, 高 俊², 张金龙¹, 王海军¹

(1. 北方特种能源集团西安北方庆华机电有限公司, 陕西 西安, 710025; 2. 陆军装备部驻西安地区第一军代室, 陕西 西安, 710025)

摘 要: 为实现在无人机小尺寸空间内完成切割伞绳和推销的功能, 根据总体技术要求, 设计了一种推销切割多功能一体化结构的电切割器, 以实现轴向推销和径向切割伞绳、电缆、金属丝等功能, 并对影响其功能的主要参数进行了设计及试验验证。试验结果表明: 当切割器输出装药为 18mg 的高氯酸钾/亚铁氰化铅点火药、砧板为 1.5mm 厚 T₂M 铜带的环形垫圈、环刀材料为 T₇(A)M 银亮钢时, 在 +55°C、-50°C 和常温条件下, 切割器均能实现可靠切割 Φ3.5mm 锦丝绳及推销功能, 且残骸结构完整。

关键词: 推销; 切割; 无人机; 结构设计; 输出装药

中图分类号: TJ45+9 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1003-1480.2022.03.002

Electric Cutter with Multifunctional Integrated Structure for Pushing and Cutting

LIU Yong-gang¹, YANG Qi¹, SUN Shi-chao¹, GAO Jun², ZHANG Jin-long¹, WANG Hai-jun¹

(1. Xi'an North Qinghua Mechanical and Electrical Company, North Special Energy Group, Xi'an, 710025; 2. The First Representative Office of Army Equipment, Xi'an, 710025)

Abstract: In order to realize the function of cutting umbrella rope and pushing pin in the small space of the drone, an electric cutter with multifunctional integrated structure for pushing and cutting was designed according to the general technical requirements, which can realize axial pushing pin and radial cutting of umbrella ropes, cables, metal wire and other functions. The main parameters affecting the realization of its function were designed and verified by tests. The test results show that when the cutter output charge is potassium perchlorate/lead ferrocyanide ignition powder of 18mg, the cutting board is an annular washer of T₂M copper strip with 1.5mm thickness, and the ring knife material is T₇(A)M silver bright steel, the cutter can cut Φ3.5mm brocade wire rope and push pin reliably under the conditions of +55°C, -50°C and normal temperature, and the structure of the wreckage is complete.

Key words: Pushing pin; Cutting; Drone; Structure design; Output charge

随着武器系统的发展, 侦察无人机越来越受到国内外关注^[1]。与侦察卫星相比, 侦察无人机能随时潜入目标上空进行侦查, 为作战指挥提供准确的目标信息, 具有成本低、地面目标分辨率高、可昼夜持续侦察等优点。切割器是实现无人机安全降落的关键装备之一。无人机降落时, 伞降系统的开启由机载计算机

控制, 高度测控机构将无人机的高度信息实时传输到计算机中。当无人机在空中完成侦察任务后, 飞到预定位置并下降到设定高度时, 计算机发出指令, 无人机伞降系统中的切割器开始工作, 降落伞被抛出。如果降落伞未成功抛出, 会造成无人机坠毁事故, 因此切割器的可靠作用非常重要。

收稿日期: 2021-12-27

作者简介: 刘永刚 (1987-), 男, 工程师, 从事火工品技术研究。

为满足多种型号无人机的降落系统需求,切割器需要在无人机小空间内实现切割伞绳和推销的多重功能。目前国内多采用切割器和推销器用于满足切割和推销作功要求,而将切割器和推销器简单组合在一起用于无人机系统,会造成产品体积过大,不能满足总体给定的小尺寸、多功能要求^[2],而且由于2种火工品功能差异大、无通用性,不利于部队装备的后勤保障。

基于具有推销和切割的多功能切割器在国内还是空白,尤其是小尺寸的多功能切割器技术难度更大的现状,笔者根据以往相关研究,研制出一种小尺寸、高推力、低冲击、无燃气泄漏、多平台通用的推销切割多功能一体化结构的新型电切割器,并对其切割效果进行了试验验证。

1 主要技术指标

根据系统总体结构特点和火工品使用功能要求,对切割器提出如下技术要求:

- (1) 最大外形尺寸为 $\Phi 9\text{mm}\times 29\text{mm}$ 。
- (2) 电性能满足电阻、静电感度、杂散电流、安全电流、跌落等指标。
- (3) 切割器应可靠切断高强度锦丝绳(每根绳由32根辫线和4根芯线编织而成,每根辫线和芯线的线密度分别为 $133.3\times 2\times 3$ 、 $133.3\times 6\times 3$ 锦丝,锦丝绳的型号及标准为3.5-150 FZ66303-1995),切刀不许飞出管壳外。
- (4) 切割器的推力值不小于800N。

2 结构设计和工作原理

2.1 结构设计

推销切割多功能一体化结构的电切割器结构见图1,主要由环形砧板、管体、活塞环形切刀、密封垫、闭气帽、发火件等组成。如图1所示,推销切割一体化结构是基于活塞环形切刀和环形砧板的组合设计。一方面,金属销一端通过环形砧板中心孔与活

塞环刀内凹面接触,切割器作用后环刀推动金属销,实现径向推销功能,如图2所示。

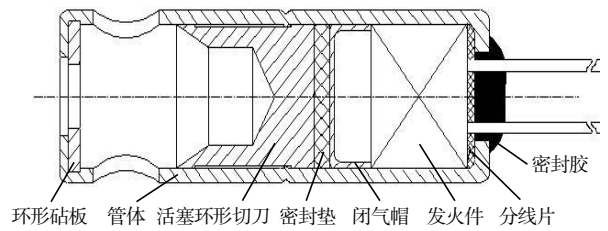


图1 切割器结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of cutter structure

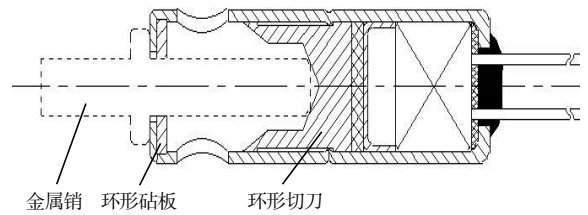


图2 推销结构设计

Fig.2 Diagram of pushing pin structure design

另一方面,通过在切割器管体侧面设计切割孔,切割器作用后环刀运动实现轴向切割过孔伞绳功能,如图3所示。推销切割一体化结构既能实现轴向推销打开伞降保险机构,又可完成径向切割伞绳、电缆、金属丝等功能,为推销和切割共用一个动力源、压力腔提供了便利条件,有利于实现切割器小型化^[3-4]。

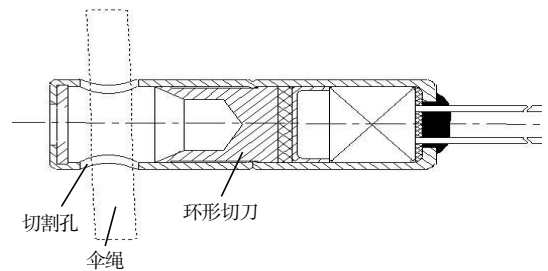


图3 切割结构设计

Fig.3 Diagram of cutting structure design

2.2 密封性设计

笔者基于台阶式密封结构^[5],采用在高温高压气体下易膨胀变形的闭气帽,同时在闭气帽和环刀之间设置与管壳过盈配合的耐高温密封垫。切割器在切割及推销过程中,闭气帽与密封垫处于变形状态,并随环刀一起运动,实现了动态密封效果。相比目前切割器常用的在切刀和输出药之间设置活动金属隔片的密封方式,台阶式密封结构保证了切割器作用后低冲

击、无污染、无燃气体泄漏，从而避免了对无人机内精密设备冲击破坏或烧毁降落伞的危险。

2.3 工作原理

无人机高度测控机构任务完成后，无人机机载计算机发出指令，为伞降系统切割器供电，切割器桥丝发热点燃发火件中的点火药，点火药燃烧产生的高温高压气体推动环刀运动，环刀完成切割过孔伞绳和轴向推动金属销的功能，伞降系统将降落伞抛到空中，实现无人机的安全降落。

3 主要参数设计

根据总体技术指标，对切割器的结构和技术参数进行设计及试验验证，确定了主要设计参数。

3.1 切割器输出装药设计

目前，切割器的气动药主要是黑火药或高氯酸钾/亚铁氰化铅烟火药。试验测试2种药剂的撞击感度、摩擦感度等性能参数，测试结果见表1。

表1 2种药剂性能比较

Tab.1 Comparison of the performance of 2 pyrotechnic compound

烟火药	撞击感度 /%	摩擦感度 /%	燃速 /(m·s ⁻¹)	爆热 /(kJ·g ⁻¹)
黑火药 (2kg 落锤, 25cm)	10~30	60 (80°, 0.59MPa)	0.82	2.90
高氯酸钾/ 亚铁氰化铅 (0.8kg 落锤, 29.5cm)	50	34 (50°, 0.64MPa)	1.75	3.33

由表1可知，黑火药是一种燃速比较慢的火药，当药量较小时产气量很小；而高氯酸钾/亚铁氰化铅点烟火药具有感度低、燃速快、放热量大的优点。因此选用高氯酸钾/亚铁氰化铅点烟火药，在满足切割器切割和推力的同时，可以保证生产和使用过程安全。

3.2 发火件药量设计

发火件是切割器的动力源，切割器的推销及切割功能是通过发火件产生的气体实现运动和作功。发火件在冲破环刀点铆阻力后，环刀在运动过程中还要克服两方面阻力：一是切割器管体与环刀、闭气帽、密封垫之间的摩擦力，二是环刀切断伞绳及推销时的阻力。切割器的能量由发火件输出装药量决定，药量大小不能冲破点铆阻力切断伞绳或推力不满足指标要

求；药量太大，环刀会将砧板打飞，对无人机内精密设备造成破坏。试验测试了4种装药量下切割器的切割效果。试验时切割器伞绳为 $\Phi 3.5\text{mm}$ 锦丝绳，并施加2.5kg拉力；环形砧板选用1.5mm厚的T₂M铜带，试验结果见表2。

由表2可知，发火件设计药量为12~24mg时，切割器能够可靠切断锦丝绳并满足推力指标要求，同时作用后切割器残骸结构完整。

表2 输出装药量试验

Tab.2 Output dosage test

药量/mg	试验条件	数量/发	试验结果
8	-50°C, 4h	30	锦丝绳未切断，推力满足技术指标要求，残骸结构完整。
12	-50°C, 4h	30	锦丝绳切断，推力满足指标要求，残骸结构完整。
24	55°C, 4h	30	锦丝绳切断，推力满足指标要求，残骸结构完整。
30	55°C, 4h	30	锦丝绳切断，推力满足指标要求，环刀和砧板飞出管体。

3.3 环形砧板设计

砧板在切割器中有两方面作用：一是作为砧板起阻挡环刀的作用，切割器作用后残骸结构要完整，环刀及砧板不能飞出管体；二是切割器推销时，金属销需穿过砧板，因此砧板设计为环形垫圈。环刀选用硬度高的T₇(A)M银亮钢，进行淬火以提高硬度。且设计环刀与砧板具有适当的硬度差，使环刀切入砧板表面切断伞绳时，切割器残骸结构完整，环刀及砧板不飞出管体。切割效果图如图4所示。

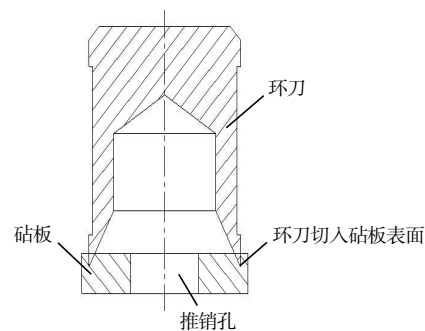


图4 切割效果图

Fig.4 Cutting effect diagram

砧板材质过软、厚度不足时，切割器作用后砧板容易被切断，环刀会飞出管体；砧板材质硬度过高、太厚时，会导致切割器尺寸超差和环刀不能完全切断伞绳、存在夹丝问题。选取2种材料(T₂M铜带、SPCD

冷压钢板)、2种厚度(0.5mm、1.5mm)的砧板进行切割试验,试验结果见表3。由表3可知,砧板材料选用1.5mm厚的T₂M铜带时,切割器能可靠切断锦丝绳,推力满足指标要求,残骸结构完整。

表3 砧板切割试验

砧板材料	厚度/mm	药量/mg	数量/发	试验结果
T ₂ M铜带	0.5	24	5	锦丝绳切断,推力满足技术指标要求,砧板破裂被打飞。
T ₂ M铜带	1.5	24	5	锦丝绳切断,推力满足技术指标要求,残骸结构完整。
SPCD冷压钢板	0.5	24	5	锦丝绳未切断,推力满足指标要求,残骸结构完整。
SPCD冷压钢板	1.5	24	5	锦丝绳未切断,推力满足指标要求,残骸结构完整。

4 性能试验

分别在+55℃、-50℃及常温条件下,进行切割器推销及切割性能试验。切割器输出装药为18mg的高氯酸钾/亚铁氰化铅点火药;砧板设计为环形垫圈,材料选用1.5mm厚度的T₂M铜带;伞绳为满足总体技术指标要求的Φ3.5mm锦丝绳,并施加2.5kg拉力。试验结果见表4。

表4 推销及切割试验结果

试验条件	数量/发	推销力/N	伞绳情况	残骸完整情况
+55℃, 4h	30	1 377 ~ 1 574	切断	残骸结构完整
-50℃, 4h	30	1 232 ~ 1 385	切断	残骸结构完整
常温	45	1 252 ~ 1 485	切断	残骸结构完整

由表4可知,本文设计的切割器在+55℃、-50℃和常温条件下均能可靠切割伞绳及推销,并且作用后残骸结构完整。

5 结论

(1) 基于活塞环形切刀和砧板的推销切割一体化结构,可使推销和切割共用一个动力源和压力腔,有利于实现切割器小型化,以满足无人机小尺寸空间应用需求。

(2) 基于闭气帽和密封垫的台阶式密封结构保证了切割器作用后低冲击、无污染、无燃气体泄漏。

(3) 当切割器输出装药为18mg的高氯酸钾/亚铁氰化铅点火药,砧板为1.5mm厚T₂M铜带的环形垫圈,环刀采用硬度高的T₇(A)M银亮钢时,切割器在+55℃、-50℃和常温条件下均能实现可靠切割Φ3.5mm锦丝绳及推销功能,且残骸结构完整。

参考文献:

- [1] 薛俊杰,肖吉阳,祝捷.美国军用无人机情报侦察监视应用现状研究[J].飞行导弹,2020(11):57-62.
- [2] 乔改霞,刘海旭.一种双功能切割器的设计[J].火工品,2012(6):18-20.
- [3] 崔卫东,关翔云,惠蕾.拔销器的小型化设计[J].火工品,2006(2):17-19.
- [4] 陈红俊,杨正才.一种拔销切割双功能作动器[J].火工品,2012(4):11-14.
- [5] 王凯民.火工品工程[M].北京:国防工业出版社,2014.
- [6] 陈刚.一种具有活动隔板的拉发式延时切割器[J].火工品,2008(6):1-4.