

doi: 10.7690/bgzdh.2021.04.002

# 某型聚能切割装置设计原理及综合效能评估

杨杰<sup>1</sup>, 郭三学<sup>2</sup>

(1. 武警工程大学研究生大队, 西安 710086; 2. 武警工程大学装备管理与保障学院, 西安 710086)

**摘要:** 为满足反恐和抢险救援任务中快速破拆建筑物门体的需求, 对聚能切割装置设计原理及综合效能进行评估。分析聚能切割装置构件组成、性能参数及设计原理, 建立以技术性、战术性和应用性为评价指标的综合效能评估体系; 运用模糊层次分析评估模型, 结合专家打分和技战术参数, 确定判断矩阵, 给出综合效能值。结果表明: 该装备设计科学、性能良好, 能满足各类建筑物门体破拆要求和遂行任务需要, 具有较好的应用前景。

**关键词:** 聚能切割装置; 设计原理; 综合效能; 评估

**中图分类号:** TJ02; E277 **文献标志码:** A

## Design Principle and Comprehensive Efficiency Evaluation of Certain Type Shaped Energy Cutting Device

Yang Jie<sup>1</sup>, Guo Sanxue<sup>2</sup>

(1. Brigade of Postgraduate, Engineering University of People's Armed Police Force, Xi'an 710086, China;

2. School of Equipment Management & Support, Engineering University of People's Armed Police Force, Xi'an 710086, China)

**Abstract:** In order to meet the needs of rapid demolition of building doors in anti-terrorism and rescue missions, evaluate the design principle and comprehensive efficiency of the energy-concentrating cutting device. Analyze the component composition, performance parameters and design principles of the energy-concentrated cutting device, and establish a comprehensive effectiveness evaluation system with technical, tactical and applicability as evaluation indicators; the method uses the fuzzy analytic hierarchy evaluation model, combined with expert scores and technical and tactical parameters to determine judgment matrix, gives the comprehensive performance value. The results show that the requirements is scientifically designed and has a good performance. It can meet the requirements of door demolition and missions of various buildings, and has a good application prospect.

**Keywords:** shaped energy cutting device; design principles; comprehensive performance; evaluation

### 0 引言

破门是反恐怖作战行动和抢险救援必备的一种技术手段。运用破门装备对建筑物门体进行破拆, 快速处置房屋内险情, 解救人员, 是整个行动的关键环节, 事关任务成败。当前, 我国居民楼内大都装有坚固耐用的金属防盗门, 给任务分队解救工作带来极大困难, 常用的破拆装备有时难以应对复杂情况。聚能切割装置的运用可以有效解决这一问题, 其强大的破拆能力可以满足复杂环境下救援突击行动的需求, 为解救人员 and 抢险救援赢得宝贵时间, 大大降低人员伤亡和财产损失。

### 1 聚能切割装置作用原理

如图 1 所示, 聚能切割装置由起爆系统、聚能切割索、吸能防护套及其他辅助部件构成。作用时, 通过切割索内部的药形罩内装药爆炸产生的聚能效

应, 形成高温高压气体, 通过金属衬罩形成射流, 瞬间切断门体, 形成通道。具体过程为: 当切割索被雷管引爆后, 炸药爆炸, 迅速压垮药型罩并聚焦形成沿聚能罩法线方向高速运动的连续金属射流, 射流头部速度 4 500 m/s, 侵彻金属防盗门, 并切断防盗门内夹层的龙骨和填充物, 将防盗门门板切开<sup>[1]</sup>。实际使用中, 可根据防盗门级别和尺寸大小, 灵活选择切割索装药量、尺寸及防护套大小。

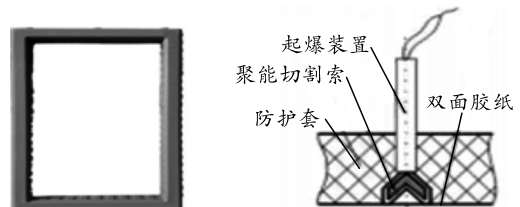


图 1 聚能切割装置组成

### 2 综合效能评估指标体系的建立

为了充分把握和运用该装备的性能特点, 需建

收稿日期: 2020-12-20; 修回日期: 2021-01-14

基金项目: 装备军内科研项目(WJ20182A020018; WJ20182A020016-1)

作者简介: 杨杰(1991—), 男, 陕西人, 硕士, 从事非致命武器、反恐处突装备研究。E-mail: 597839031@qq.com。

立综合效能评估指标体系,客观对其效能进行评估,为下一步配发使用和遂行任务提供理论依据和技术支持<sup>[2]</sup>。

聚能切割装置综合效能主要体现在毁伤能力和作用效率等方面,通过技术手段既要产生足够大的能量达到快速破门,又要确保不产生次生破坏,造成建筑物损毁和内部人员伤亡。设计评估指标体系如图 2 所示。

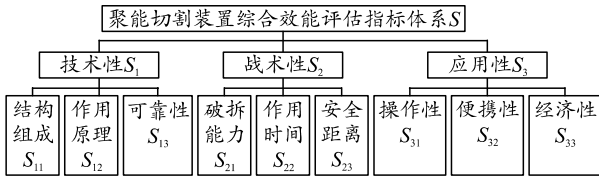


图 2 评估指标体系

### 2.1 技术性

技术性是衡量装备性能的关键因素,主要包含装备的结构组成合理性、技术先进性和运用的可靠性。某型聚能切割装置性能参数如表 1 所示。

表 1 某型聚能切割装置性能参数

组件	切割索、吸能防护套、起爆装置
切割索	钢制切割索
装药名称	钝化黑索金
装药量/(g/m)	65
威力/ml	475(TNT=100)
爆速/(m/s)	8 712
切割对象	甲级(含甲级)以下级别防盗安全门、木质门(实木复合门、实木门)、厚度小于 120 mm 砖砌墙和各类交通工具箱(舱)体
切割钢板厚度/mm	8
质量/kg	15.2
装箱尺寸/mm	1 126×620×120

1) 结构组成。合理的结构设计是确保在装备使用时,对建筑物结构、人员(操作人员及建筑物内部人员)不产生伤害的情况下,对目标的精准破坏,使其毁伤威力发挥到最大;因此,产生的碎片、冲击波和其他安全风险应从结构上予以消除或降低,结构组成越科学,评价越好。聚能切割装置主要由引爆传爆装置、聚能爆破切割索和防护套 3 部分组成,切割索内设计药型罩覆盖装药,采用面对称结构,药型罩呈倒“V”型,能够产生较大的射流质量与射流速度,增强了切割能力,切割索壳体与药型罩为一体式设计,减少了部件的组装,集成性较好。为了降低爆炸产生的冲击波、噪声及爆炸产物对人员的伤害,设计了防护套,选用泡片状软质材料,不仅质量轻,而且在爆炸后碎片成絮状、飞行距离短,危险性极小。同时,也可采用被覆水的方式,

产生堵塞爆破效果,爆炸形成的水雾同时降低爆炸产生的噪声,能量损失小、破门能力强,降低了噪声和爆炸产物对人员的伤害。

2) 作用原理。利用空心装药爆炸时产生的聚能效应,以高温高压气体为动力源,通过金属衬罩形成射流,迫使门表面压力突然达到几百万大气压,使防盗门瞬间被破,技术成熟、原理上可行,能够实现快速突入的战术目的。

3) 可靠性。装备在规定的条件和条件下,完成规定功能的能力称为可靠性。聚能切割装药为钝化黑索金,性能稳定、感度低,生产和运输使用安全,导爆由电雷管引发,作用过程迅速,爆炸产生能量大,切割索可根据门的大小灵活调整,能量大小、作用区域及爆炸方向均可控,整个装置集成简约,操作稳定可靠。

### 2.2 战术性

战术性是装备在遂行任务中所能到达的最大目标价值,其优劣直接决定了任务能否有效完成。对于聚能切割装置,其战术性主要体现在破拆能力、作用时间和安全距离上。该装备破门、破墙效果如图 3 所示。



(a) 破门

(b) 破墙

图 3 效果图

1) 破拆能力。聚能切割装置装药量为 304 g/m,可破除甲级(含甲级)以下级别防盗安全门、木质门(实木复合门、实木门)、厚度小于 120 mm 砖砌墙和各类交通工具箱体或舱体、切割钢板厚度达 8 mm,能够有效破除城市建筑内常见的各类门窗。

2) 作用时间。作用时间是指从准备工作完毕后,击发、起爆到实现破门的时间。对于遂行破门突入和抢险救援任务,装备作用时间越短,越能达到快速隐蔽的战术目的;因此,作用时间至关重要,聚能切割装置在安装完成后,由电雷管引爆,全过程作用时间为 0.5 s,能够实现瞬间爆炸,完成破门的任务。

3) 安全距离。安全距离是指确保人员不受损伤的最短距离。安全距离越小,越能缩短进入时间,

越有利于突入行动。实验结果表明:在无任何防护条件下爆炸时,在3 m的直线距离上,产生的冲击波超压为0.015 MPa、爆炸噪声为125 dB,对于房屋内外人员是安全的,其产生的爆炸飞片范围也在3 m以内;因此,该装备安全距离为3 m。在实际使用中,该距离既能有效保护战斗人员,又能大大缩短突入时间,有效提升战术价值。

### 2.3 应用性

应用性是衡量聚能切割装置能否广泛使用的重要因素之一,主要从操作性、便携性和经济性3方面考虑。

1) 操作性。选择无粘贴简便安装或速干胶粘贴安装,需经过3个环节、12个步骤。使用前先确定防盗门级别,严格对照标准装药、谨慎操作,过程中需防静电、禁烟火,起爆前所有操作不允许带电作业,需专业人员操作。

2) 便携性。聚能切割装置质量为15.2 kg,尺寸为1 126 mm×620 mm×120 mm,尺寸较小,既可人工携带,也可随车运输,取用方便,运输时要注意符合火工品相关规定。

3) 经济性。随着技术水平和工艺的提升,炸药、火工品生产成本不断降低,技术也更加先进,为威力大、效果佳各类爆破型装备的广泛应用提供了可能。目前,聚能切割装置全套价格约在20 000元左右,配备2、3个防护套和聚能切割索,能够多次使用。

## 3 模糊层次分析方法

聚能切割装置的综合效能是预期该装备在规定时间内和时间内实现意图、控制现场、有效救援等任务程度的度量,是与任务紧密相关的系统对抗能力的综合度量。

### 3.1 模糊综合评判模型的建立

综合效能指标具有多层次、多因素、模糊性的特点,采用单一的评估方法很难达到客观全面的评估效果。通过将层次分析法和模糊评判法结合起来,有效解决了定性与定量指标并存的复杂多指标问题及系统效能评估存在的不确定性,具有系统、灵活、准确的特点<sup>[3]</sup>。其评价模型流程<sup>[4]</sup>如图4所示。

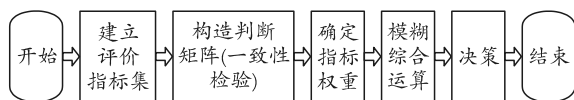


图4 模糊综合评价模型流程

### 3.1.1 层次分析法确定指标权重

采用1~9比例标度对重要性程度赋值<sup>[5]</sup>。

通过专家组对评估指标间的重要程度进行两两比较量化,得出判断矩阵 $S=(a_{ij})_{n \times n}$ ( $a$ 为第 $i$ 个因素相对于第 $j$ 个因素的比较结果,则 $a_{ij}=1/a_{ji}$ )。由判断矩阵 $A$ 计算各指标权重的方法如下:

1) 将 $A$ 的每一列向量归一化得

$$\varpi_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (1)$$

2) 按行求和得

$$\varpi_i = \sum_{j=1}^n \varpi_{ij} \quad (2)$$

3) 归一化:

$$\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T, \quad \omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T,$$

$$\omega_i = \varpi_i / \sum_{i=1}^n \varpi_i \quad (3)$$

4) 计算 $A\omega$ 。

5) 计算

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A\omega)_i / \omega_i \quad (4)$$

6) 一致性检验:

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (5)$$

查找相应的平均随机一致性指标RI。

7) 计算一致性比例:

$$CR = CI / RI \quad (6)$$

式中:当 $CR=0$ 时,比较矩阵有完全的一致性;当 $CR<0.1$ 时,则该判断矩阵有满意的一致性;当 $CR>0.1$ 时,需对判断矩阵进行调整,直到满意为止<sup>[6]</sup>。

### 3.1.2 模糊综合评价法建立单因素模糊评判矩阵

1) 建立评价对象的指标集和评语集。

$S=\{S_1, S_2, S_3\}$ ,  $S_1=\{S_{11}, S_{12}, S_{13}\}$ ,  $S_2=\{S_{21}, S_{22}, S_{23}\}$ ,  $S_3=\{S_{31}, S_{32}, S_{33}\}$ ,  $S_1 \sim S_3$ 为一级评价指标,其他为二级指标,将评语集定为 $V=\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ 表示由高到低的评语。

在构建的评价指标体系中,对于定性指标,由于难以得到具体的模糊分布函数,故采用专家打分法确定其隶属度比较合适。设单因素的模糊向量为 $r_{ij}=(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ ,则 $r_{ij}=x_{ijp}/X$ 。 $X$ 为专家人数, $x_{ijp}$ 为因素 $S_{ij}$ 隶属于区间 $V_p$ 次数。评语集采用5级评价等级:很好(80~100],较好(70~80],一般(50~70],较差(30~50],差[0~30]<sup>[7]</sup>。

2) 定量指标处理。

选取 10 位专家, 对每个指标打分, 找出评语等级, 进行分数隶属区间的统计, 可以建立同层因素模糊评判矩阵为:

$$R=(r_{ij})_{m \times n}, r_{ij}=x_{ijp}/X_0 \quad (7)$$

3.2 评估综合效能

为充分利用信息, 防止有效信息丢失, 选用灵敏度最高的“加权平均算子”作为模糊算子。

设指标  $S_{ij}$  相对于  $S$  的权重为  $w_{ij}$ ,  $w_{ij}=(w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{21}, w_{22}, w_{23}, w_{31}, w_{32}, w_{33})$ , 满足  $w_{11}+w_{12}+\dots+w_{33}=1$ 。设  $S_{ij}$  对  $V_p(p=1,2,3,4,5)$  的隶属度为  $r_{ijp}$ ,  $m$  为同层定性指标个数<sup>[8]</sup>, 则  $S_{ij}$  对于评价集  $V$  的模糊评判矩阵为

$$R_i=(r_{ijp})_{m \times n} \quad (8)$$

其中, 矩阵  $R_i$  的第  $j$  行表示  $S_i$  中第  $j$  个指标对于评价集  $V$  中各评价等级的隶属度, 进一步可得  $S_i$  的模糊综合评估向量为

$$S_i=W_{ij} R_{ij}=(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{i5}) \quad (9)$$

式中  $r_{ip}$  为指标对评价等级的隶属度

$$r_{ip}=\sum_{i=1}^m w_{ij} r_{ijp}, j=1,2,3 \quad (10)$$

式中

$$r_{ip}=\sum_{i=1}^m w_i r_{ip}, p=1,2,3,4,5, i=1,2,3 \quad (11)$$

在对指标子集进行综合评估的基础上, 对指标  $S$  进行模糊综合评判:

$$S=W_i R_i=(r_1, r_2, \dots, r_5) \quad (12)$$

效能评估结果为:

$$E=\sum_{i=1}^n r_{ip} \frac{d_i+d'_i}{2} \quad (13)$$

式中  $d_i, d'_i$  为评语对应区间的分组:

$$v_1-(d_1, d'_1), v_2-(d_2, d'_2), \dots, v_5-(d_5, d'_5), n=5$$

4 综合效能评估

4.1 确定指标权重

某层指标相对于上一层指标判断矩阵及权重如表 2<sup>[9]</sup>。

4.2 定性定量指标处理

对于定性指标, 结合 10 位专家对该装备评价结果, 利用定性指标模糊向量的确定方法得到判断矩阵及权重(见表 3); 对于定量指标, 通过采集技术参数、进行市场调查, 得出定量指标隶属度参数<sup>[10]</sup>

(见表 4), 从而得到定量指标模糊向量(见表 5)。

表 2 判断矩阵及权重

$S$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$\omega_i$	$\lambda_{max}$	CI	CR
$S_1$	1	1/4	2	0.218			
$S_2$	4	1	3	0.630	3.109	0.054 5	0.094 0
$S_3$	1/2	1/3	1	0.152			
$S_1$	$S_{11}$	$S_{12}$	$S_{13}$	$\omega_i$	$\lambda_{max}$	CI	CR
$S_{11}$	1	1/2	2	0.297			
$S_{12}$	2	1	3	0.540	3.009	0.004 5	0.007 8
$S_{13}$	1/2	1/3	1	0.163			
$S_2$	$S_{21}$	$S_{22}$	$S_{23}$	$\omega_i$	$\lambda_{max}$	CI	CR
$S_{21}$	1	3	4	0.614			
$S_{22}$	1/3	1	3	0.268	3.030	0.015 0	0.026 0
$S_{23}$	1/4	1/3	1	0.118			
$S_3$	$S_{31}$	$S_{32}$	$S_{33}$	$\omega_i$	$\lambda_{max}$	CI	CR
$S_{31}$	1	2	4	0.558			
$S_{32}$	1/2	1	3	0.320	3.020	0.010 0	0.017 0
$S_{33}$	1/4	1/3	1	0.122			

表 3 定性指标模糊向量

指标	聚能切割装置				
	很好	较好	一般	较差	差
作用时间	1	0	0	0	0
安全距离	0	0.25	0.75	0	0

表 4 定量指标隶属度参数

指标	聚能切割装置				
	很好	较好	一般	较差	差
结构组成	0.4	0.4	0.2	0	0
作用原理	0.7	0.2	0.1	0	0
可靠性	0.2	0.4	0.4	0	0
破拆能力	0.7	0.3	0	0	0
操作性	0.1	0.3	0.4	0.2	0
便携性	0	0.3	0.5	0.2	0
经济性	0	0	0.5	0.5	0

表 5 定量指标模糊向量

指标	$a_1$	$b_1$	$b_2$	$a_3$	$b_3$	$a_4$	$b_4$
作用时间	0.5	1.5	4.5	5	6.5	8.0	10
安全距离	0.5	1.0	3.5	5	7.0	8.5	11

4.3 综合评价

由上述方法确定的判断矩阵, 计算得到聚能切割装置各项指标综合模糊向量为

$$S_1=W_1 \cdot R_1=(0.529 4, 0.292, 0.178 6, 0, 0),$$

$$S_2=W_2 \cdot R_2=(0.697 8, 0.213 7, 0.088 5, 0, 0),$$

$$S_3=W_3 \cdot R_3=(0.055 8, 0.263 4, 0.444 2, 0.236 6, 0)。$$

通过  $S=W \cdot R$ , 可得出聚能切割装置综合评判向量为

$$S=W \cdot R=(0.563 5, 0.238 3, 0.162 2, 0.036 0, 0)。$$

最后由公式计算可得综合效能值为

$$E=\sum_{i=1}^n r_{ip} \frac{d_i+d'_i}{2}=79.76。$$

根据各评语对应的量化数值, 聚能切割装置综合效能较好, 这和实际情况相符。

## 5 结束语

笔者构建全面评价其综合效能的指标体系,能科学客观地评价该装备的技战术性能和在任务中广泛应用的可能性。同时,采用了模糊层次分析评估模型,采集专家打分数据,对其综合效能进行量化评估,评估结果为较好,说明该装备性能良好,能够满足建筑物门体破拆要求,为在反恐和抢险救援任务中的广泛应用提供理论依据和实践支撑。评估结果还表明:该装备在经济性和操作性方面不够理想,还需进一步改良材料,降低制作成本,在操作使用上还要改进方法,集成部件,减少连接环节和步骤,提高操作便捷性。

## 参考文献:

- [1] 屈璟林, 王宝兴, 李森元, 等. 柔性聚能切割技术在防盗门开窗中的应用研究[J]. 爆破器材, 2010, 39(6): 26.
- [2] 陈飞翔, 郭三学. 空气炮设计原理及非致命效能评估[J].

(上接第4页)

图8为装备车辆从启动到停止时的数据采集曲线。车辆启动时,其发动机温度从环境温度迅速上升至85℃左右并在其行驶期间保持该温度。装备车辆停下后约1h,发动机温度恢复至室温,并随着车辆的启动与熄火不断重复该过程。

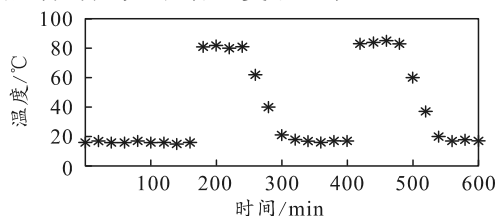


图8 车辆启动发动机温度

结果表明:传感器能采集到实时数据且云平台能及时存储传感器数据并生成历史数据曲线,窗口显示软件能正常显示数据。保障人员根据数据的显示,能够及时地了解装备车辆状态,提前预知装备车辆存在的安全隐患,基本达到系统设计的目标。

## 4 结论

笔者开展了系统分析和方案设计,进行了可行性验证,对数据的建模和未来趋势进行预测。该系统省去了人工记录操作繁琐、容易丢失和损毁等问题,扩展性较好,适用性较强,可以根据需求安装不同种类传感器采集不同数据。车辆行驶期间对传感器的稳定性、抗震性和使用寿命有着极高的要

兵器装备工程学报, 2019, 40(9): 37-40

- [3] 陈鲁巧, 巩青歌, 谭海佩, 等. 基于模糊 AHP 的武警分队处突效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(8): 107.
- [4] 雷宁, 曹继平, 王赛, 等. 基于 AHP 和模糊综合评价法的装备维修保障效能评估[J]. 兵工自动化, 2019, 38(10): 78.
- [5] 毕长剑, 董冬梅, 张双建, 等. 作战模拟训练效能评估[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014: 29.
- [6] 梁郑丽, 贾晓丰. 决策支持系统理论与实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014: 51-53.
- [7] 郭三学. 非致命武器发展研究[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2016: 67.
- [8] 马森, 郭三学, 王世贝. 基于模糊层次分析法的抛锚器作战效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2019, 44(10): 68.
- [9] 张明智. 军事定量分析方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2017: 133.
- [10] 龚德金, 郭三学, 曹昶. 基于 F-AHP 法的车载非致命武器效能评估[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2014, 33(1): 109.

求<sup>[10]</sup>。下一步,可尝试在不同地形上行驶并采集数据,并考虑部队车辆的实际情况,在装备车辆保障标准化建设的要求下对数据进行采集处理。

## 参考文献:

- [1] 李鹏, 杨丽. 设备全生命周期管理[J]. 科技与创新, 2019, 123(3): 94-95, 97.
- [2] 张蕉蕉, 曹森, 郭坚毅, 等. 基于 STM32F103 装备数据采集系统的设计[J]. 装备制造技术, 2012(7): 307-311.
- [3] 徐晓祥. 野战炮兵装备车辆管理信息系统研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
- [4] 邵婷婷, 韦强, 肖晟涵. 一种基于云平台的温湿度监测系统[J]. 电子设计工程, 2020, 28(6): 92-96.
- [5] 李凯, 赵峰, 王常平, 等. 基于 WLAN 的工程装备车辆作训远程监控系统[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2010, 27(6): 651-654.
- [6] 陈琪锋. 传感器在智慧消防物联网云平台中的应用与设计[J]. 电子技术与软件工程, 2019, 148(2): 99.
- [7] 杨圣奇. MATLAB 语言在一元回归模型建立中的应用[J]. 重庆工业高等专科学校学报, 2001(4): 23-25, 28.
- [8] 王永生, 杜彬彬, 孙瑾, 等. Exponent 及 Gauss 型遥测数据建模初始化算法[J]. 海军航空工程学院学报, 2015, 30(6): 547-552.
- [9] 王永生, 谢晓方, 赵锋, 等. 基于 Levenberg-Marquardt 算法的遥测数据建模预测[J]. 测试技术学报, 2014, 28(5): 449-455.
- [10] 翟芳. 汽车常用传感器之胎压监测传感器[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2019(12): 133-134.