

# 破片对履带式车辆毁伤分析

李峰,石全,陈材,王亚东

(陆军工程大学石家庄校区 装备指挥与管理系, 石家庄 050003)

**摘要:**利用战斗损伤仿真平台,采用正交试验方法,对履带式车辆仿真进行了正交试验设计,确定了正交试验表,得到不同条件下履带式车辆遭受破片损伤数量,并对各影响因素对破片数量的影响进行分析,得到不同因素对履带式车辆遭受破片数目影响程度,对指导履带式车辆毁伤研究和防护具有参考价值。

**关键词:**破片;履带式车辆;影响因素;正交试验

**本文引用格式:**李峰,石全,陈材,等.破片对履带式车辆毁伤分析[J].兵器装备工程学报,2019,40(2):90-93.

**Citation format:**LI Feng, SHI Quan, CHEN Cai, et al. Damage Analysis of Tracked Vehicle[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2019, 40(2): 90-93.

**中图分类号:**TP391.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-2304(2019)02-0090-04

## Damage Analysis of Tracked Vehicle

LI Feng, SHI Quan, CHEN Cai, WANG Yadong

(Department of Equipment Command and Management, Shijiazhuang Campus,  
Army Engineering University, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** Based on combat damage simulation platform, orthogonal test method was used to design orthogonal test for tracked vehicle simulation. Orthogonal test table was determined. The number of fragments damaged by tracked vehicle under different conditions was obtained. The influence of various influencing factors on the number of fragments was analyzed. The influence degree of different factors on the number of fragments damaged by tracked vehicle was obtained. It has reference value to guide the research and protection of tracked vehicle damage.

**Key words:** fragment; tracked vehicle; influencing factor; orthogonal test

随着科技的发展,军事斗争方式的改变,军事作战的条件与形势也发生变化,未来战争中,精确火力打击必将成为作战的主体和基础。精确的火力毁伤也将是未来战争的研究重点。履带车辆是现代战争中重要的武器装备之一,其强大的机动性能和越野性能是在恶劣战场环境中来去自如的重要保证<sup>[1]</sup>。在现代战场条件下,对履带式车辆目标的毁伤进行研究,可用于预测损伤发生的形式以及对作战产生的影响,用于辅助制定作战计划、战场抢修计划等。目前对履带式车辆研究的文献资料已经很多,刘喆<sup>[2-4]</sup>对采用 ADAMS

软件对履带式车辆的行星轮和传动轴结构进行优化和设计。管继富<sup>[5]</sup>建立了半主动悬挂系统,改善了履带车的平稳性和操作稳定性。孙伟<sup>[6]</sup>和翟永翠<sup>[7]</sup>在虚拟环境下建立了较好的履带车行驶过程中的仿真模型。董新建<sup>[8]</sup>和卢进军<sup>[9]</sup>运用动力学仿真方法研究了履带车辆高速转向,可为履带车辆转向性能的研究和高速转向的操作提供指导。李林岐<sup>[10]</sup>对高原寒区自行火炮行星转向机进行分解装配,探索出一种新的修理方法。

上述文献主要是针对各结构部件的疲劳和装备的行驶

**收稿日期:**2018-09-20; **修回日期:**2018-10-25

**作者简介:**李峰(1995—),男,硕士研究生,主要从事装备战场抢修理论与技术研究。

**通讯作者:**石全(1966—),男,博士生导师,主要从事装备战场抢修理论与技术研究。

过程进行研究,并未研究战场环境下,履带车辆受打击后的毁伤评估。本文利用仿真平台对履带车辆受破片打击后的情况进行毁伤分析。此外,装备战场损伤仿真试验研究也是战场环境下实体装备战损试验研究的重要组成部分,利用科学合理的试验方法和技术能够在实弹试验中,有效提高毁伤试验的精度,大大提高试验效能,具有重要的现实意义和军事经济效益。

## 1 仿真模型建立

### 1.1 装备几何模型建立

利用仿真平台进行装备零部件的装配,材料为45钢,密度为 $7.83\text{ g/cm}^3$ ,剪切模量为 $80\text{ GPa}$ 。根据已有的装备结构数据和零部件之间的相对位置关系,将建好的零部件模型装配为具有特定功能的基本系统单元,图1为研究对象(履带式车辆装配后车轮与履带部分装配模型)。

在完成基本系统单元装配后,再将各基本系统单元进行装配,建立完整的装备三维实体模型。图2为装备装配完成后的整体模型。

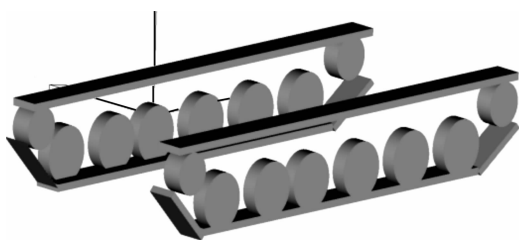


图1 车轮与履带部分装配模型

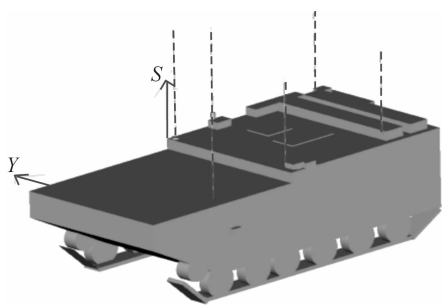


图2 装备整体模型

### 1.2 仿真平台

战斗损伤仿真平台主要实现单个装备在遭受炮弹破片攻击下的损伤模拟,模拟过程主要由以下4个方面组成:破片的攻击过程;装备基本几何元素的损伤;装备基本单元的损伤;装备整体的损伤。

破片攻击过程的模拟主要完成破片的形成、破片侵彻和穿透装备材料的毁伤;装备基本几何元素损伤模拟主要完成破片针对装备基本几何元素的侵彻毁伤过程,并将损伤模拟

的结果进行汇总分析;装备基本单元损伤模拟则是在基本几何元素损伤模拟的基础上,针对装备基本单元的损伤,将损伤数据再次进行汇总和分析;装备整体损伤模拟则是在以上几个损伤模拟的基础上,以装备整体损伤为研究重点,对损伤数据进行汇总和分析。

通过定义不同的坐标系(包括地面坐标系、装备坐标系和投影坐标系),并根据设定的弹药型号、弹道终点作用参数和弹药、装备的具体坐标,完成以上四个不同的损伤模拟过程,就可以实现装备在静止状态下遭受破片式弹药攻击的损伤模拟过程,并输出相应的损伤程度(即遭受破片的侵彻次数)。

## 2 正交试验设计

正交试验设计就是一种科学的安排与分析多因素试验方法。李盼<sup>[11]</sup>针对蒙皮的影响因素进行了正交试验设计,获得了优化设计最优参数组合。根据本次试验所需要进行的单因子影响因素分析要求,将炸点距离 $R$ 、距离地面的垂直高度 $H$ 、弹药的水平角 $\theta_1$ 、高低角 $\theta_2$ 、弹种 $A$ 作为本次正交试验的表头设计因子,单因素具体示意图如图3所示。其中点 $G$ 为炮弹重心。由于本次正交试验中,共有5个影响因素,每个因子具有5个水平,所以进行25次正交试验。建立如表1所示反映单因子变化趋势的因子水平表和表2所示的本次正交试验的正交试验表。

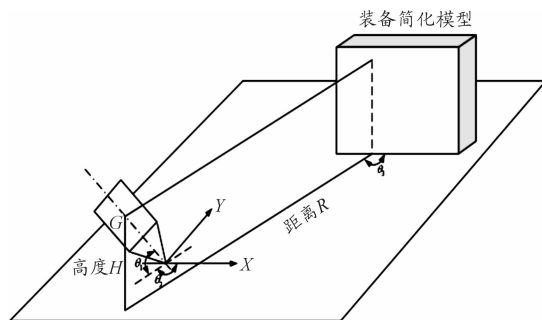


图3 试验效能影响因素示意图

表1 因子水平

因子水平	水平角/(°)	高低角/(°)	炸点距离 $R/\text{mm}$	垂直高度 $H/\text{m}$	弹种 $A$
1	0	0	2 000	500	S60
2	45	22.5	3 000	2 000	D60
3	90	45	4 000	3 500	M1
4	135	67.5	5 000	5 000	M107
5	180	90	6 000	6 500	54

表2 正交试验

试验号	水平角/(°)	高低角/(°)	炸点距离 R/mm	垂直高度 H/m	弹种
1	0	0	2 000	500	S60
2	0	22.5	3 000	2 000	D60
3	0	45	4 000	3 500	M1
4	0	67.5	5 000	5 000	M107
5	0	90	6 000	6 500	54
6	45	0	3 000	3 500	M107
7	45	22.5	4 000	5 000	54
8	45	45	5 000	6 500	S60
9	45	67.5	6 000	500	D60
10	45	90	2 000	2 000	M1
11	90	0	4 000	6 500	D60
12	90	22.5	5 000	500	M1
13	90	45	6 000	2 000	M107
14	90	67.5	2 000	3 500	54
15	90	90	3 000	5 000	S60
16	135	0	5 000	2 000	54
17	135	22.5	6 000	3 500	S60
18	135	45	2 000	5 000	D60
19	135	67.5	3 000	6 500	M1
20	135	90	4 000	500	M107
21	180	0	6 000	5 000	M1
22	180	22.5	2 000	6 500	M107
23	180	45	3 000	500	54
24	180	67.5	4 000	2 000	S60
25	180	90	5 000	3 500	D60

### 3 试验结果分析

根据构造的装备仿真模型,以及确定的正交试验表,利用装备战斗损伤仿真平台进行仿真试验,得出如表3所示,在25次试验中各种情况下装备遭受破片侵彻的数目。同时对试验结果进行极差分析,即对正交试验表中各列极差数值从大到小排列,得出对试验结果产生主要影响的因素,进而对主要因素进行分析,得出更准确的试验结论。

从表3中可以看出:随着各个参数的变化,履带式车辆遭受破片损伤的数量不尽相同。履带式车辆遭受破片损伤数量最少为2个,最多竟多达985个,由此可见各个影响因素的不同对履带式遭受破片损伤数量影响很大。

据正交试验表的综合可比性,采用正交试验直观分析法求取第 $j$ 因素第 $k$ 水平所对应的试验指标和 $y_{jk}$ 的平均值 $\bar{y}_{jk}$ ,根据 $\bar{y}_{jk}$ 的变化趋势,就可以得到各影响因素综合影响下各因素对考察指标的影响趋势。 $\bar{y}_{jk}$ 的计算公式见下式,其中 $N_{jk}$

为第 $j$ 因素第 $k$ 水平所做的试验次数总和。

$$\bar{y}_{jk} = y_{jk}/N_{jk}, j = 1, 2, 3, 4, 5; k = 1, 2, 3, 4, 5$$

根据表1中的试验数据,对装备遭受破片打击数目 $\beta$ 的数据进行分析计算,求得各因素水平下对应 $\bar{y}_{jk}$ 见表4所示。

表3 仿真试验结果统计

水平角/(°)	高低角/(°)	炸点距离 R/mm	垂直高度 H/m	弹种	破片数
0	0	2 000	500	S60	63
0	22.5	3 000	2 000	D60	237
0	45	4 000	3 500	M1	23
0	67.5	5 000	5 000	M107	39
0	90	6 000	6 500	54	3
45	0	3 000	3 500	M107	341
45	22.5	4 000	5 000	54	171
45	45	5 000	6 500	S60	11
45	67.5	6 000	500	D60	72
45	90	2 000	2 000	M1	293
90	0	4 000	6 500	D60	30
90	22.5	5 000	500	M1	187
90	45	6 000	2 000	M107	166
90	67.5	2 000	3 500	54	137
90	90	3 000	5 000	S60	20
135	0	5 000	2000	54	85
135	22.5	6 000	3 500	S60	2
135	45	2 000	5 000	D60	29
135	67.5	3 000	6 500	M1	12
135	90	4 000	500	M107	985
180	0	6 000	5 000	M1	64
180	22.5	2 000	6 500	M107	117
180	45	3 000	500	54	716
180	67.5	4 000	2 000	S60	108
180	90	5 000	3 500	D60	42

表4 各因素水平下仿真结果分析

因子水平	水平角/(°)	高低角/(°)	炸点距离 R/mm	垂直高度 H/m	弹种 A
1	116.6	73.0	404.6	127.8	40.8
2	142.8	177.6	177.8	265.2	102.0
3	189.0	108.0	109.0	263.4	115.8
4	63.6	222.6	64.6	72.8	309.6
5	278.6	209.4	34.6	61.4	222.4
极差	215.0	149.6	370.0	203.8	207.6

表4中因子水平数值按1~5的顺序从小到大排序,其中弹种A中因子水平1~5依次为105 mm榴弹S60、105 mm

榴弹 D60、M1 式 105 mm 榴弹、M107 式 155 mm 榴弹、54 式 122 mm 杀伤爆破榴弹。由极差分析结果可以看出:各因素对装备毁伤的影响程度大小按从大至小顺序排列分别为:炸点距离  $R >$  水平角  $\theta_1 >$  弹种  $A >$  垂直高度  $H >$  高低角  $\theta_2$ 。初步得出对装备毁伤效果影响最大的因素为炸点距离  $R$ 。

同时分别以炸点距离  $R$ 、弹药垂直高度  $H$ 、水平角  $\theta_1$ 、高低角  $\theta_2$ 、弹种五个影响因素的水平为横坐标,以各影响因素在不同水平下对应破片数目  $\beta$  的  $\bar{y}_{jk}$  值为纵坐标,绘制出各影响因素对装备遭受破片打击数目  $\beta$  的影响趋势,如图 4 所示。

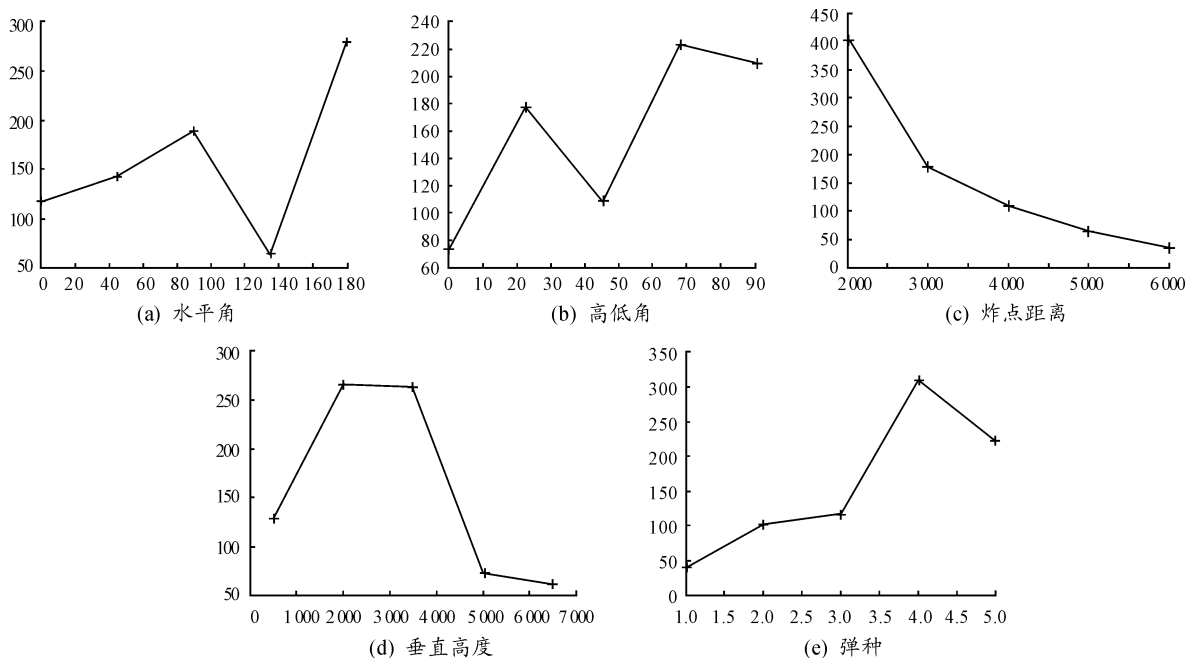


图 4 各因素影响曲线

由图 4 所示各影响因素曲线趋势可以看出:破片侵彻对装备毁伤的影响程度随着炸点距离  $R$  和高度  $H$  的增大而减小;随着水平角和高低角的增大,出现先增大后减小再增大的趋势;而 5 种弹药对装备毁伤的影响中,M107 式 155 mm 榴弹影响最大,54 式 122 mm 杀伤爆破榴弹次之,随后是 M1 式 105 mm 榴弹、105 mm 榴弹 D60 和 105 mm 榴弹 S60。

## 4 结论

试验结果表明:影响因素的不同对履带式车辆遭受破片损伤数量影响很大,破片数量范围从 2 到 985 变化。这些影响因素对破片数量影响由大到小依次为炸点距离  $R$ 、水平角  $\theta_1$ 、弹种  $A$ 、垂直高度  $H$ 、高低角  $\theta_2$ 。

## 参考文献:

[1] BROPHY P. Telling the story: Qualitative approaches to measuring the performance of emerging library services[J]. Performance Measurement & Metrics, 2008, 9(1): 7-17.  
 [2] 刘喆,陶凤和,贾长治.基于行驶仿真试验的履带式车辆行星架结构优化[J].中国机械工程,2015,26(23):3260-3265.

[3] 刘喆,陶凤和,贾长治.履带车辆传动轴疲劳寿命预测与结构改进[J].工程设计学报,2015(5):431-437.  
 [4] 刘喆,陶凤和,贾长治.履带式车辆行星架疲劳寿命仿真预测研究[J].机械传动,2015(12):53-57.  
 [5] 管继富,顾亮,侯朝楨,等.履带式车辆半主动悬挂系统的建模与仿真[J].兵工学报,2005,26(1):1-5.  
 [6] 孙伟,张琦,孙丰,等.虚拟环境中履带式车辆运动仿真[J].计算机仿真,2008,25(8):258-262.  
 [7] 翟永翠.一种履带式车辆运动的六自由度仿真方法[J].中国工程机械学报,2016,14(3):211-215.  
 [8] 董新建,文桂林,韩旭.履带车辆高速转向动力学仿真[J].计算机辅助工程,2006,15(s1):277-280.  
 [9] 卢进军,魏来生,赵韬硕.基于 RecurDyn 的履带车辆高速转向动力学仿真研究[J].现代机械,2008(1):10-12.  
 [10] 李林岐,张海龙,张泽峰,等.高原寒区条件下某型自行火炮行星转向机分解与装配[J].兵器装备工程学报,2018(8):63-65.  
 [11] 李盼,原梅妮,赵兴成,等.基于正交设计、组合权重-灰色关联的  $\Omega$  夹层蒙皮抗鸟撞优化设计[J].兵器装备工程学报,2017(12):236-241.