国内外森林灭火弹发射装置研究现状*

陈吉潮，王克印*，刘耀鹏
（石家庄军械工程学院 基础部，河北 石家庄 050003）

摘要： 为实现森林灭火弹的推广应用，研发了一种适合民用的弹丸发射装置，将现有抛射物体的加速方式运用到发射平台加速系统的设计中。综述分析了国内外关于森林灭火弹发射装置的研究现状，提出了利用常规能源作为弹丸发射动力的方法，对各种发射动力源的特点进行了评价，并得出了电能与液压能作为动力源的可行性结论。最后指出，研发一种利用常规能源的发射装置是可行的，这对于防灾减灾具有一定的现实意义。

关键词： 森林灭火弹；加速方式；发射平台
中图分类号： TH11；TJ713　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 1001-4551(2012)05-0616-05

Research of forest extinguishing ammunition launcher in foreign and domestic

CHEN Ji-chao, WANG Ke-yin, LIU Yao-peng
(Department of Base, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: In order to achieve the promotion of the use in forest extinguishing ammunition, a projectile lanuncher for civilian was developed, the existing accelerate methods of projectile objects was used to design the acceleration system. Research of forest extinguishing ammunition launcher in foreign and domestic was analyzed. The use of conventional energy sourses as a method of projectiles fired power was proposed, also the characteristics of various emission power were evaluated, it was gotten that the conclusions that electricity and hydraulic energy is feasible. Finally, the results show that, developing a device based on conventional enery sourses is feasible, it has some practical significances to disaster prevention and mitigation.

Key words: forest extinguishing ammunition; acceleration means; launch platform

0 引 言

森林火灾是各种灾情中发生最频繁、最具毁灭性的灾害之一[1]。目前，我国的灭火装备相对比较落后，普遍采用人海战术的手段进行火场抢险，通过消防人员近距离地接触火场进行灭火。在这种情况下不仅灭火效率低，容易错过灭火的最佳时机，而且消防人员自身的安全也受到威胁[2]。

目前，远距离投掷森林灭火弹已作为一种有效的灭火手段，其主要运用的发射装置为军用迫击炮与火箭炮等。通过远距离发射灭火弹，可以避免消防人员近距离接触火场，减少人员的伤亡；同时灭火弹携带方便，便于消防人员快速机动，在第一时间做出快速的响应。

根据森林火灾的特点及火灾扑救工作的战略原则，笔者针对石家庄科技局2008年科技攻关项目“远程森林灭火系统”做了大量试验研究，最后军械工程学院与国营5413厂联合研发出了基于PP87式82 mm迫击炮发射系统的远程森林灭火弹，这种灭火弹经过模拟火场试验证明，可以有效地控制森林火灾蔓延趋势，并能够实现森林灭火中“打早、打小”的目的[3]。但PP87式82 mm迫击炮武器系统用于装备部队，是伴随步兵作战的重要炮兵武器。军用武器系统难以装备地方民

收稿日期： 2011-11-07
基金项目： 石家庄市科技攻关资助项目(08108911A)
作者简介： 陈吉潮(1987-)，男，福建大田人，主要从事现代设计理论及应用方面的研究. E-mail：chenjichao126@126.com
通信联系人： 王克印，男，教授. E-mail：chenjichao126@126.com

用，阻碍了森林灭火弹的推广运用。另外，火箭炮也是作为灭火弹的一种常用发射方式，虽然火箭炮能多发联射和发射弹径较大的火箭弹，发射速度快、火力猛、突袭性好，但由于其射弹散布大、弹道低伸，不利于穿越茂密的森林，顺利到达火场[4-6]。因此火箭弹的发射方式也不适合森林灭火弹的发射。

如前所述，目前森林灭火弹的远距离投射装置主要基于军用武器平台，发射动力源为火药气体，在民用推广中，安全性不够好。所以对于研发一种利用常规能源、基于非武器系统的民用发射平台具有一定的现实意义。

1　森林灭火弹发射装置的研究现状

1.1　国外研究现状

国外在地面森林灭火装备的研究主要表现在远程灭火炮弹上和装甲灭火车方面。德国新发明一种灭火导弹（称为“巡航型”），它可携带500 kg的泡沫灭火剂，使用普通的发射装置，能够持续喷射灭火剂20 s~30 s，导弹作低空飞行，速度为360 km/h，一旦喷射完毕，便飞回预定的回收地点，回收后，可装满灭火剂再次使用[7]。

俄罗斯研究人员着眼“喀秋莎”火箭炮威力极大的特点，借助其类似的发射原理，采用多枚火箭灭火弹齐射的方式，精确控制弹着点，研制出新型灭火装置，但目前还未见其实用报道[8-9]；日本研制出了大型消防炮，炮弹在火场上空和周围爆炸后形成的泡沫可达1.3×10^4 m^3，因而能很快包围并控制火势。

瑞典和芬兰联合研制的先进迫击炮系统AMOS可以发射任何类型的120 mm滑膛迫击炮弹，采取弹药炮尾半自动装填模式，可以安装在轮式或履带式的底盘上，拥有半自动瞄准装置，最大射程达到10 km，能在15 s内发射6发弹，并确保16发炮弹同时击中一个目标，是世界上唯一具有“多发弹先后发射同时弹着”能力的迫击炮系统。该系统拥有360°的方向射角和-50°~+85°的高低射角，最大射速20 rds/min。美国和德国共同推出的炮塔式120 mm自行迫击炮TMUAS，采用倾斜装填和半自动装填方式，炮组成员2人，射速达到24 rds/min。

奥地利诺里库姆公司研制出一种SM-4式4管联装120mm齐射迫击炮，它将4根3 m长的身管并排安装在轮式动载车后部的固定座钣上。该炮配用自动装填机和火控计算机，采用炮口装填、气压发射，既可4管连射，也可4管齐射，一门齐射迫击炮相当于4门普通迫击炮，火力密度和瞬时火力效果增强[10]。

西班牙圣米格尔科学研究所研制出一种崭新的灭火炸弹—多阶可膨胀固体灭火炸弹，这种灭火弹由白壳、稳定器、时间控制器和可膨胀固体组成，爆炸后形成一片薄膜把火盖住，炸弹重500 kg，在几秒钟内就可扑灭一公顷的火场[11]。

匈牙利工程师在2000年发明的大口径灭火炮，它的射程远、容量大、机动性好，用于海湾战争中针对火井的灭火取得了良好的效果。该灭火炮可以连发，其发射角可以改变，炮管朝向可以通过旋转炮座改变。但由于其体积大，消耗能源也大，活动稍显迟缓。

从以上介绍的国外灭火弹发射平台来看，灭火弹发射都是以火药作为发射能源，以军用装备作为发射平台的。目前还没有关于利用常规能源作为射动力的相关报道；并且用于森林灭火中，还有待进一步的研究与开发[12-14]。

1.2　国内研究现状

目前，国内的灭火装备与国外相比差距比较大。我国现在用于森林灭火的地面灭火装置较少，笔者查阅到最新的装置是由中林华宝（北京）科技发展有限公司研制的系列车载森林灭火系统，包括：CMH-1型、CMH-2型、CMH-3型、CMH-4型车载智能森林灭火系统，BMH-1型便携式森林灭火系统，BMH-2型单兵森林灭火系统，SLM105型森林灭火发射器等。这一系列的森林灭火系统均采用火炮远程发射方式，将装有高效灭火粉、剂的灭火弹送至目标火点，将灭火粉、剂控高布洒而实现灭火；射程范围30 m~1500 m，实现了近、中、远全程覆盖。

CMH-1型远距智能森林灭火系统（如图1所示）采用车载、火箭多管发射，具有机动快速、自动化程度高、操作简单、灭火效果显著等特点。这些发射装置虽然可以在不同条件下实现一定的灭火效果，但由于火箭弹弹道低伸的特点，不利于穿越森林，因此火箭弹的发射方式在实际的火场救援受到较大限制。

图1　CMH-1型远距智能森林灭火系统

李涛完成了PP87式82 mm迫击炮车载炮架的研究，主要是基于已经研发出的PP87式82 mm迫击炮灭火弹药（实物图如图2所示）。针对灭火弹单管发射时，灭火半径平均为2 m，有效灭火面积小、复燃可能性大的缺点，并考虑迫击炮PP87式82 mm迫击炮身管、后坐动能等各类参数，研制出带有自动前装填机构

的车载炮架系统。利用这一系统，可以在2 500 m外，以多管齐射的方式发射灭火弹，避免了近距离的接触火场，同时为迫击炮集束发射的研究提供了新的参考。

图2 远程森林灭火弹实物图

湖北省宜昌市林业局在原军用水陆两栖战车的基础上研制了灭火“榴弹炮”车，其突出的特点是车顶安装有10管发射器，可在500 m的距离内单发或连发灭火弹，一发灭火弹可有效覆盖12 m^2的着火面积。

哈尔滨工程大学在远程气动灭火炮方面的研究处于国内领先地位。远程气动灭火炮是一种利用高压压缩空气将装有灭火剂的消防灭火弹由炮管发射至消防人员难以接近的、较远或较高火区的灭火设备，适用于大面积、远距离森林灭火[15-16]。

王立波[17]研制出一种能够连续发射，射程远的气动灭火炮装置，集成在炮车系统上，并对远程气动灭火炮进行了结构设计。王初亮[18] 研制出一种可靠性高的气动发射机构，更好地适应远程气动灭火炮射程远、威力大和高速连续发射的要求。他们关于远程气动灭火炮的研究取得了较大突破，利用高压气体的动能作为弹体的发射动力，建立了灭火炮整体结构模型并仿真与论证。但由于气体压力极限等因素的影响，气动灭火跑的射程较近（这是它的致命缺点），国产灭火炮的射程一般不超过180 m，发达国家可达200 m。从火场与实施救援地距离来看，这个射程是远远不够的。

根据以上介绍的国内外关于灭火弹发射装置的研究现状可知，为了使弹丸实现运动，必须给弹丸提供一个初速度和方向。

2 抛射物体（弹丸）的加速方式

2.1 变形能加速

抛石机是一种利用杠杆原理抛射石弹的大型人力远射兵器，我国春秋时期已开始使用，主要用作攻城，或者是守城时打击集合起来的敌方军队[19]。火炮出现后，抛石机逐渐退出历史舞台[20]。弩是冷兵器时代重要的远程武器，由弓、弩臂和弩机3个部件构成，在设计上符合现代机构学理论[21]。弓箭是人类使用的历史最悠久的射器[22]。

综上所述，古代的弩炮、弓箭均是利用变形能来使物体获得一定的初速度，但物体获得的初速小，射程短，弹丸的飞行稳定性、弹着点一致性较差。

弹簧是利用弹性来工作的机械零件。弹簧在受载时能产生较大的弹性变形，把机械功或动能转化为变形能，卸载后弹簧回复原状，将变形能转化为机械功或动能[23-27]。

2.2 气液压加速

气液压加速系统主要由气液压能源系统、滑轮增速系统、滑行小车系统和导轨这几个子系统组成。气液压加速系统的主要特点是在较短的距离内使滑行小车及上面所载物体达到较高的速度。气液压能源系统为整个系统提供动力，主要由气囊式蓄能器、单作用式液压缸、截止阀、卸荷阀、液压管路等组成，如图3所示。

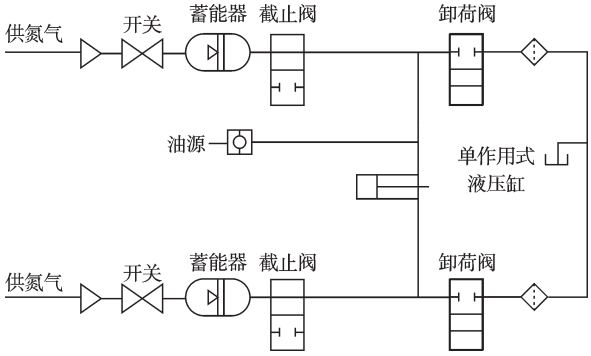

图3 气液压能源系统

滑轮增速系统的作用是使滑行小车在有限长度的滑轨上加速至指定速度。由于液压缸本身的限制，其活塞运动速度很小。引入滑轮增速系统后，可以在液压缸活塞运动行程不大于1 m的情况下使增速比达到18，即液压缸的工作速度近似等于滑行小车运动速度的1/18。该系统由9个动滑轮和9个定滑轮、动滑轮框架和静滑轮框架、导轨和钢丝绳组成。滑轮增速系统如图4所示。动滑轮及其框架组成运动机构，可以沿着导轨随着液压缸活塞收缩运动而运动。

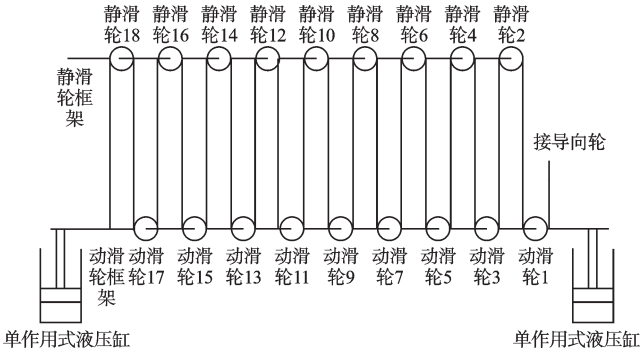

图4 滑轮增速系统

2.3 电磁加速

电磁发射技术是将电能转化为电磁能，进而转化为抛体动能。它借助电磁力做功，将电磁能转化为弹丸的动能，完成各种作战任务[28-30]。电磁炮是利用电

磁系统中的电磁场作用力，其作用的时间要长得多，可大大提高炮弹的速度和炮的射程[31]。

尽管电磁炮具有很多传统火炮无法比拟的优异性能，人们对它的研究在最近几年也取得了很大进展，但这种新型武器要尽快进入实用阶段还需要解决好以下两个主要问题[32-35]。

（1）电源问题。电磁炮工作时需要在短时间内提供很大电流，消耗的能量巨大。试验表明，轨道炮以3 km/s的速度发射质量1.0 kg的炮弹，需要在10 ms内提供兆安级的平均电流，消耗的功率在20×10^6 kW以上。目前技术条件下，这一方面需要非常笨重的脉冲电源以及很长、很粗的导轨，造成整个电磁炮的体积和重量过大，对承载平台的尺寸和动力要求都很高；另一方面，大的电流和带来的等离子电弧会严重烧蚀导轨和电枢导体，在开关断开时产生电弧，极大地降低导轨和开关寿命以及限制炮弹初速的提高，并带来效率低的问题。

（2）炮弹问题。用电磁炮发射的炮弹要承受很高的加速度（约为重力加速度的几十万倍）并高速飞行去撞击目标，炮弹构造和使用材质都比较特殊，材料的硬度要求也很高。还要考虑降低成本，解决炮弹飞行过程中的控制、稳定性及抗过载和高温防热等问题，从而保证电磁炮的射程、精度和威力等性能[36]。

2.4　电机加速

旋转电机是根据电磁感应原理实现电能与机械能之间相互转换的一种能量转换装置；静止电机是根据电磁感应定律和磁势平衡原理实现电压变化的一种电磁装置，也称其为变压器[37-39]。

2.5　蒸汽动力加速

蒸汽加速动力是来自锅炉产生的高温高压水蒸气，利用高压气体使物体获得一定的初速度。目前，利用蒸汽动力作为加速系统动力源的例子中，比较典型的是舰用蒸汽弹射系统。国内在舰用蒸汽弹射装置方面所进行的研究比较少，主要有余晓军、高翔[40]利用Matlab软件对载机的动力学特性进行了数值计算；赵险峰[41]利用数学模型对弹射装置的设计进行了研究。程刚、倪何、孙丰瑞[42]建立了舰载蒸汽弹射系统的模型。

舰用蒸汽弹射器[43-44]从总体上来说，可以认为是一个单程的往复式蒸汽机，主要由储汽罐、弹射阀、排汽阀、开槽汽缸、弹射活塞组件、水力制动系统、复位系统以及其他辅助设备组成，其装置示意图如图5所示。其弹射过程如下：① 锅炉产生的高温、高压蒸汽通过充汽阀进入储汽筒，当储汽筒达到一定压力后，充汽阀关闭；② 载荷（飞机）就位，打开弹射阀高压蒸汽进入汽缸，汽缸压力上升；③ 当汽缸内蒸汽压力达到一定值时，拉着

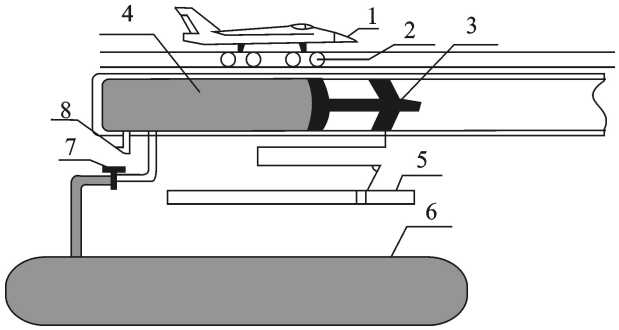

图5　蒸汽弹射装置示意图

1—飞机；2—弹射小车；3—汽缸活塞；4—开槽汽缸；5—液压复位系统；6—储汽筒；7—弹射阀；8—排汽阀

活塞组件的应力螺栓断裂，活塞前冲，通过活塞和载荷之间的连接组件带动载荷加速，在很短的时间内达到规 定的速度；④ 水力制动装置（图5中未标出）吸收活塞的末动能，排汽阀打开，复位系统将活塞组件拖回原位，储汽筒充汽阀开启，准备下一次的弹射。

蒸汽弹射器是一种机械装置，不会产生强电磁场，因此也就不存在电磁弹射系统EMALS[45]对载机和舰载电子设备的电磁干扰问题。

2.6　火药爆炸化学能加速

火炸药作为武器能源在发射、飞行和毁伤3个过程起到关键作用，是发射的动力能源、飞行控制作用力和毁伤能量的生成源。发射药作为武器的发射与推进能源，在限定的能量条件下，作功大小取决于作功过程，作功过程完全取决于能量释放规律。

3　结束语

笔者所从事的基于“远程森林灭火系统”项目的研究，已经研制出具有良好灭火效率的灭火弹。为了实现灭火弹的推广运用，需要研究一种基于常规能源适合民用的发射平台。笔者介绍了几种不同抛射物体的加速方式，得出了电能、液压能是两种可以作为动力源的结论，本研究所作的工作为下一步发射装置加速系统的设计提供了一定的参考。

参考文献（References）：

[1]　李春雷. 森林火灾与人类[J]. 生命与灾害，2009（6）：37-38.

[2]　桂潜波. 远程森林灭火弹药设计与研究[D]. 石家庄：军械工程学院，2009.

[3]　李　涛. PP87式82mm迫击炮车载炮架研究[D]. 石家庄：军械工程学院，2009.

[4]　曹广群，张艳华，刘树华. 基于ADAMS的多管火箭炮动力学仿真分析[J]. 兵工自动化，2009，28（2）：32-35.

[5]　孙　利. 国产火箭炮简介[J]. 世界航空航天博览：B版，2003（11）：51-52.

[6] KAMRAN A, LIANG Guo-zhu. Design and optimization of solid rocket motor Finocyl grain using simulated annealing [J]. **Journal of Aerospace Power**, 2011, 26(4): 917-923.
[7] 尚 科. 灭火巡航导弹[J]. 域外, 2003(17): 42.
[8] 赵志翔. 苏联二战中的秘密武器—"喀秋莎"火箭炮[J]. 海事大观, 2005(9): 78-80.
[9] 冯艳萍. 俄罗斯森林防火现状及拟采取的措施[J]. 消防技术与产品信息, 2004(5): 46-48.
[10] 连鲁军, 叶小军. 迫击炮—未来发展向何方[J]. 环球军事, 2005(3): 26-27.
[11] 任 海, 姚庆学, 高昌菊. 国外森林防火新技术与设备[J]. 林业机械与木工设备, 2003, 31(3): 33-35.
[12] TEBBENS F, BURROUGHS T M. Forest fire burn areas in Western Canada modeled as self-similar criticality [J]. **Physica D: Nonlinear Phenomena**, 2005(3): 221-234.
[13] LEWIS N B, ZEIGLER M J, VASCONCELOS B K. Forest fire spread and suppression in DEVS [J]. **Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International**, 2004(10): 480-500.
[14] PANG Yong-gang, LIU Shao-gang. Simulation research on control system and ballistic of a remote forest fire fighting cannon [C]// 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering, 2010: 394-397.
[15] 孙春阳. 远程气动灭火炮缓冲系统设计与研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学机电工程学院, 2008.
[16] CHANG Chun-yuan, MA Yan. Simulation of Forest Fire Extinguishing with Pneumatic Extinguisher Based on Multi-Agent [C]// 2008 IEEE International Symposiumon Knowledge Acquisitionand Modeling Workshop, 2008.
[17] 王立波. 远程气动灭火炮的结构设计与研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学机电工程学院, 2008.
[18] 王初亮. 远程气动灭火炮发射机构的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学机电工程学院, 2010.
[19] 姜 岸. 古代大炮—抛石机[J]. 兵器故事, 1998(11): 24.
[20] 朱涧轩. 中国古代的远程武器[J]. 发明与革新, 1998(8): 26.
[21] 张宝锋, 崔亚辉, 董雅文. 弩机机械学性能研究和受力分析[J]. 西安理工大学学报, 2006, 22(3): 327-330.
[22] 党德洲. 弓箭的起源与历史流变[J]. 文史探源, 2010(9): 72-73.
[23] LAWANWONG K, PREMANOND V. The study reduction of spring-back in U bending die process[C]//2010 2nd International Conference on Mechanical and Electronics Engineering, 2010: 84-88.
[24] 王加刚, 董方元, 于伟. 某供弹机弹簧马达的设计方法及生产中的关键问题[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(1): 48-50.
[25] MIYAWAKI K, MORI S, SAKURADA A, et al. High Precise Positioning Control for Block Spring Motor[C]// 2008 International Symposium on Micro-Nano mechatronics and Human Science, 2008: 441-446.
[26] 何长安, 赵学琦. 气液压加速系统的仿真建模研究[J]. 机床与液压, 2007, 35(5): 202-204.
[27] 王积伟, 章宏甲, 黄 谊, 等. 液压与气压传动[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
[28] YANG Qing-wen, FANG Shi-dong, YANG Xiu-shun, et al. Design and Implementation of Supervisory Control System for Training Simulator of Rocket Launcher [C]// 2007 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments, 2007: 237-240.
[29] 王德满, 王跃进, 谢慧才. 线圈炮—电磁同轴发射器及其系统分析[J]. 宇航学报, 1996(4): 79-82.
[30] 贺 翔, 曹群生. 电磁发射技术研究进展和关键技术[J]. 中国电子科学研究院学报, 2011, 6(2): 130-135.
[31] 王静端. 电磁发射技术的发展及其军事应用[J]. 火力与指挥控制, 2001(1): 5-7.
[32] FAIR H D. Electric launch science and technology in the United States [J]. **IEEE Transactions on Magnetics**, 2003, 39(1): 11-17.
[33] AIRH D F. Advances in electromagnetic launch science and technology and its applications[J]. **IEEE Transactions on Magnetics**, 2009, 45(1): 225-230.
[34] TZENG J T, SUN W. Dynamic response of cantilevered rail guns attributed to projectile/gun interaction-theory [J]. **IEEE Transactions on Magnetics**, 2007, 43 (1): 207-213.
[35] HAN Jun, PAN Yuan, HE Jun-jia. Study of employing railguns in close-in weapon systems[J]. **IEEE Transactions on Magnetics**, 2009, 45(1): 641-644.
[36] 王 群, 耿云玲. 电磁炮及其特点和军事应用前景[J]. 国防科技, 2011(2): 1-7.
[37] REDGATE J. Optimum Efficiency Induction Motor Drives for the Electric Vehicle Application [C]. 4th International Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit, 2006.
[38] 卢建强, 孙培德, 顾宝龙. 关于旋转电机的分类及其总结[J]. 微计算机信息, 2004, 20(12): 37-39.
[39] 张 年, 黄 冈, 张广怀. 电机的运用[J]. 科协论坛, 2007(8): 382.
[40] 余晓军, 高 翔, 钟民军. 蒸汽弹射器的动力学仿真研究[J]. 船海工程, 2005, 34(3): 1-4.
[41] 赵险峰. 航母载机蒸汽弹射系统的数学仿真研究[J]. 舰载武器, 1996(3): 45-53.
[42] 程 刚, 倪 何, 孙丰瑞. 舰载蒸汽弹射系统建模与仿真研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2010, 34(2): 301-305.
[43] 吴赵发. 国外航空母舰特种装备的发展[R]. 北京: 舰船情报研究所, 1993.
[44] 远 峰. 弹射器的秘密[J]. 海空力量, 2005(3): 81-84.
[45] DOYLE M R, SAMUEL D J, CONWAY T. Electro-magnetic aircraft launch system-EMALS[J]. **IEEE Transactions on Magnetics**, 1995, 31(1): 528-533.

[编辑: 罗向阳]