

飞机战伤抢修研究中的建模仿真简述

赵培仲, 吉伯林, 魏华凯, 戴京涛, 胡芳友
(海军航空工程学院青岛校区, 山东 青岛 266041)

摘要: 飞机战伤抢修是战时快速恢复和保持持续战斗力的最为有效的手段。由于和平时期实战抢修很少,因此,数学建模和仿真技术在飞机战伤抢修研究中的应用越来越多。为了更好地理解其应用情况及进展,简要综述了近几年国内新的相关研究概况。随着建模仿真技术的发展,以及战伤抢修研究的深入,建模仿真的应用已经越来越深入细致。

关键词: 飞机; 战伤抢修; 建模; 仿真

中图分类号: V271.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2014)02-0055-05

A Brief Review on Modeling and Simulation in Aircraft Battle Damage Repair Studies

ZHAO Pei-zhong, JI Bo-lin, WEI Hua-kai, DAI Jing-tao, HU Fang-you
(Qingdao Branch, Naval Academy of Aeronautical Engineering, Qingdao 266041, China)

Abstract: Aircraft Battle Damage Repair (ABDR) is the most effective method to restore and keep the battle effectiveness during the wartime. However, because there is few actual ABDR data in the long peaceful time, the mathematical modeling and simulation technologies were used more and more widely in ABDR studies. The new studies on modeling and simulation methods of ABDR in the recent years are presented in this paper. With the development of modeling and simulation technologies and ABDR studies, the application is becoming more and more comprehensive and elaborate.

Key words: aircraft; battle damage repair; modeling; simulation

0 引言

飞机战伤抢修是战时损伤飞机的局部再设计、再制造,是在有限的时间内和有限的条件下快速恢复其为完成某一任务所必备作战能力的维修活动^[1]。战伤抢修的目的是保证飞机具有最大的战斗出动架次,要求在短时间内把战伤飞机恢复到可再次投入战斗的状态,甚至使战伤飞机能够再次执行一次作战任务,或能够自行飞到后方修理厂自救。战伤抢修的基本特征是要求“快”和能够满足作战使用要求。

1973年的中东战争是飞机战伤抢修研究的分水岭。这次战争中,以色列空军卓有成效的战伤抢修发挥了至关重要的作用,因此,引起了世界各国对飞机战伤抢修的重视,并相继开展大量的研究,使得飞机战伤研究成为各国都十分重视的一项工作。由于我国长

期处于和平时期,航空装备的战伤战损数据十分缺乏且陈旧,限制了飞机战伤抢修的训练和发展^[2]。但是,随着数学建模和仿真技术的不断发展,研究人员通过合理的建模仿真开展战伤抢修研究,既能够节约经费又能够很好地提升抢修研究水平。因此,近年来数学建模仿真在抢修研究中得到了很好的应用,早期的应用主要是建立战伤评估的专家系统,随着战伤抢修研究的不断深入,研究的内容分得更细,也更深入。为此,本文主要对国内近几年建模仿真在飞机战伤抢修研究中的一些新的应用情况进行综述。

1 建模仿真在战伤抢修研究中的应用

1.1 在备件供应研究中的应用

由于战时修理和平时修理不同,战时备件需求和平时修理相比,呈现许多不同的特点和规律。为了节省修理时间,战伤抢修中换件修理是常见的一种修理方式。能否及时有效地提供抢修备件,直接关系到战伤抢修工作能否顺利进行。如果备件的类型和需求不符或者供应量不足,则必定造成飞机某些零部件损坏

后无法进行修理,从而影响部队战斗力的发挥;如果过多,造成大量不必要备件的积压,不但造成保障经费的浪费,而且增加了保障工作的负担,为此,研究人员对于战时抢修备件的需求进行了研究。由于缺少实际战争抢修的经验,更多的研究是基于外军的一些公开文献资料和我军平时修理的经验,运用现代人工智能等手段进行的模拟仿真计算。

在对战时备件的品种数量需求预测上,模糊层次分析法和神经网络等方法较多被采用^[3-4]。这些方法各有特点,但是不论哪种方法,至关重要的是确定合理的影响因素及其权重。目前考虑的因素主要是备件可能的损伤类型、备件的故障率、必须进行更换的概率以及备件的关键性,也就是对飞机生存能力或完成下一次任务必须能力的影响^[5]。为了突出这一点,同时考虑战伤抢修对飞机生存能力的关注,也有研究者从飞机生存能力的角度来对备件的种类和数量进行仿真研究。

由于战时备件的一次性携行数量有限,还需要考虑后续的运输供应保障,因此,备件的供应事实上是一个动态的过程。为了达到精确保障的战略要求,实现高效率低成本的持续性保障,研究备件需求和供应的动态性规律十分重要。文献[6]运用系统动力学原理分析了“需求牵引”模式下的备件物流结构,研究了供需差异的动态变化规律,找出系统性能与系统参数之间的关系,从而为策略分析和系统设计提供依据;文献[7]则运用马尔科夫链法,研究了战伤抢修备件需求概率的计算问题,得到了基于二项分布的战伤备件需求量。

如前所述,由于缺少实战数据和经验,目前的仿真分析并不能够完全反映战时的情况,但是这些仿真研究具有非常重要的意义——可以在比较经济的情况下,综合考虑多种因素,这对于未来的战时备件保障具有重要的参考价值。当然,战时的情况瞬息万变,而且随着技术不断进步,这种变化会越来越显著,完全契合战时的情况是难以做到的,战时还需要灵活地应对各种无法预料的情况,科学合理的仿真研究可以帮助我们掌握一般规律,提高对未来战场的掌控能力。

1.2 在飞机抢修性研究中的应用

飞机战伤抢修性也称为“飞机战斗恢复力”,指的是在战时环境中,使抢修人员能够在尽可能短的时间内将战伤飞机修复到规定状态的一种飞机设计特性^[8]。战伤抢修性是除可靠性、维修性、安全性之外军用飞机的一种新的特性,它体现了战伤飞机通过维修恢复使用功能的能力的大小。使用人员或维修人员利用这种特性,采用应急手段和方法,可以使战伤飞机迅速重新投入战斗,即使不能恢复飞机的全部功能,也应能恢复其执行当时任务所必需的局部功能或基本飞行

能力。从人机系统的角度看,它不仅是装备的一种特性,而且还强调了掌握装备的人的作用。具有这些特性,抢修人员就可以利用战场上能够得到的资源,采用应急手段对损伤飞机进行快速抢修。

飞机战伤抢修性研究主要包括抢修性设计和抢修性评价两方面^[9]。抢修性设计是从“源头”抓起,即要求飞机本身设计有便于抢修的特性(称为固有抢修性)且其保障系统设计有所需的抢修能力(称作外部抢修性或配套抢修资源)。若在飞机系统研制之初就考虑飞机战伤抢修性设计,并提出抢修性指标,纳入飞机研制系统工程中,就能从基础上更广泛更有效地解决飞机战伤后的修复问题。飞机战伤抢修性设计准则包括飞机本身的设计准则(即固有抢修性设计准则)和外部抢修性(即配套抢修资源)设计准则:前者主要包括结构功能模块化设计、可达性设计、可测试性设计、电线管路的标示设计和故障诊断设计等方面;后者则主要考虑修理方法、手段简便和维修资源的容易获取,主要包括结构材料的选用、简化设计、标准化设计、互换性设计、替代设计、余度设计等。

飞机战伤抢修性评价研究的主要方法有试验统计法、专家评定法、模糊综合评价法、层次分析评价法、灰色关联评价法、计算机仿真评价法等几大类^[10-11]。

基于特征的飞机战伤抢修性集对分析评价法^[12]结合了层次分析法的优点,针对层次分析法确定评价因素的主观性强、计算结果的精度难以保证的缺点,采用特征理论来解决,即针对每位专家的知识背景不同、所处的科研环境不同、个人偏好不同造成原始数据中随机成分累积的问题,采用奇异值分解来提取专家评分矩阵的特征,解决专家间的分歧问题,保证评价数据源的合理性和可信度。由于抢修性评价中存在着评价主体选择偏好的不确定性、评价客体本身的复杂性带来的不确定性、评价数据源的不完全性等许多不确定因素,一般的飞机战伤抢修性评价常常隐藏着很大的评价风险。而抢修性评价的结果往往是决策者做决策时的重要参考依据,故抢修性评价的风险很可能给将来的决策带来极大的风险。出于对评价稳妥性的考虑,该新方法灵活运用集对分析理论,建立一种可有效解决不确定性影响因素的飞机战伤抢修性评价模型,以求得到稳定可靠的抢修性评价结果。

1.3 在组织管理研究中的应用

组织管理研究主要包括抢修的规范标准、各种资源的配置、抢修的顺序安排、抢修分队的选址、信息化等。

抢修顺序的安排是对战时抢修工作的统筹。它是在有限的时间、有限的资源等情况下,争取最大战斗力恢复的合理优化过程,是科学决策的依据。对抢修进

行排序的关键是选择合理的指标体系,据此,才能够科学决定先修什么后修什么。主要考虑的因素包括装备对战斗力的影响程度、装备的损伤情况、抢修需要的时间、抢修必备的人员和备件等要素。在指标体系中不仅要确定合理的因素,还要明确各个因素的权重。权重的确定不仅要考虑损伤部位的关键性,还必须考虑战场的战斗力需求以及抢修人员和物资的供应情况,这样,才能科学安排抢修顺序。在抢修排序研究中运用的建模分析方法包括熵权理论、灰色决策理论、神经网络、排队理论等^[13-18]。此外,由于飞机结构不同系统的特点,其抢修也存在一个最佳路径的问题。例如通信系统和电网系统,它们的网络是相互关联的,而战伤的出现又是随机的离散时间。由于 Petri 网络在离散动态系统建模中具有强大的优势,因此在通信系统装备的战伤评估和抢修中应用较多^[19-23]。Petri 网又可以针对不同的系统特点分为时间 Petri 网、着色 Petri 网等。此外,蚁群算法可以借鉴到通信线路的最佳抢修路径问题的研究中。该方法可以较快地发现最佳的抢修路径,提高抢修效率,争取更多的时间^[24]。

抢修分队是战时装备维修的基本力量,合理配置其位置,对形成全部战区的战斗力快速再生具有举足轻重的影响。抢修力量的靠前配置、持续保障和机动能力是适应现代战争维修保障发展的必备条件,因此,抢修分队的选址是十分关键的一环。研究者基于不确定决策理论中的拉普拉斯准则以及网络上任意一点均有可能发生任务需求的假设,以整个机动交通网的覆盖率最大为目标,构建了双重覆盖标准模型,并运用遗传禁忌算法精确求解,对选址问题进行了理论探讨^[23]。

2 几种常用方法的介绍

模糊综合评价法^[25]是一种基于模糊数学的综合评标方法。该综合评价法根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。它具有结果清晰、系统性强的特点,能较好地解决模糊的、难以量化的问题,适合各种非确定性问题的解决。但模糊综合评价是一种基于主观信息的综合评价方法。

灰色关联度分析法^[26]是一种多因素统计分析方法,它以各因素的样本数据为依据,用灰色关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序,若样本数据反映出的两因素变化的态势(方向、大小和速度等)基本一致,则它们之间的关联度较大;反之,关联度较小。此方法的优点在于思路明晰,可以在很大程度上减少由于信息不对称带来的损失,并且对数据要求较低,工作量较少;其主要缺点在于需要对各项指标的最优值进行现行确

定,主观性过强,同时,部分指标最优值难以确定。

层次分析法是一种实用的多准则决策方法^[27],AHP 方法把复杂问题分解成各个组成因素,又将这些因素按支配关系分组形成递阶层次结构。通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性;然后综合有关人员的判断,确定备选方案相对重要性的总排序。层次分析法是一种模拟人们决策过程的思维方式的方法,它把判断各要素的相对重要性的步骤留给大脑,只保留人脑对要素的印象,化为简单的权重进行计算。这种思想能处理许多用传统的最优化技术无法解决的实际问题。但定量数据较少,定性成分多,不易令人信服;指标过多时,数据统计量大,且权重难以确定;特征值和特征向量的精确求法比较复杂,计算结果的精度难以保证。

神经网络是智能控制技术的主要分支之一^[28]。由于算法不同,神经网络包括前向神经网络模型、BP 神经网络、小脑模型神经网络、基于遗传算法的神经网络、基于模糊理论的神经网络、RBF 网络等。不同的网络,其建立模型时的结构也各具特色。针对某一问题,可根据具体的情况进行选择,以更加有效地解决问题。但是,通常神经网络样本依赖性比较强,网络模型的逼近和推广能力与学习样本的典型性密切相关,而从问题中选取典型样本实例组成训练集是一个很困难的问题。特别是,对于战伤抢修,其本身的实际数据就很少,样本数量非常有限。在进行建模研究时,更需要仔细地分析问题,综合考虑多种情况,最终确定合理的样本。

3 结论与展望

随着建模仿真方法和技术不断发展,越来越多的领域开始采用这些方法开展研究,特别是一些大型装备的研究,由于实验研究的开展非常困难,有些几乎无法实施,建模仿真相对容易实施,而且更加经济,因此得到了更多的应用。尽管建模仿真研究不能完全符合实际情况,但是,随着算法的不断创新,计算理论更加完善,精度不断提高,建模仿真的结果也将越来越贴近实际。除此之外,如何更加综合全面地考虑各个影响因素,建立科学合理的数学模型也是关系仿真结果的关键,是建模仿真研究的重要方向之一。

建模仿真的研究成果对于更深刻理解战伤抢修中各层面的问题,掌握其一般规律非常有意义,对未来战伤抢修的实际开展具有重要的指导作用。当然,建模仿真的结果也需要实践的检验。因此,有限的实弹研究数据以及国际上战争中飞机抢修的相关资料对进一步改进模型,使其更加合理显得尤为重要。这些有限的的数据资料应该被仔细研究,充分利用,以促进建模仿真在飞机战伤抢修研究中更好地应用。

参 考 文 献

- [1] 张建华. 飞机结构战伤抢修[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
ZHANG J H. Aircraft battle damage repair engineering [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007.
- [2] 潘庆军,熊腊森,刘晓山. 飞机战伤抢修综合仿真系统设计及实现[J]. 兵工学报,2007,28(11):1401-1404.
PAN Q J, XIONG L S, LIU X S. Design and development of composite aircraft battle damage repair simulation system [J]. Acta Armamentarii, 2007, 28(11):1401-1404.
- [3] 程力,韩国柱. 基于 FAHP 的装备战场抢修备件品种确定模型[J]. 兵工自动化,2006,25(4):17-19.
CHENG L, HAN G Z. Confirming model of equipment maintenance spare parts varieties in battlefield based on FAHP[J]. O. I. Automation, 2006, 25(4):17-19.
- [4] 蔡开龙,姚武文,孙云帆,等. 飞机战伤抢修备件需求预测方法研究[J]. 电光与控制,2010,17(12):60-63.
CAI K L, YAO W W, SUN Y F, et al. Spare part requirement prediction method of aircraft battle damage repair [J]. Electronics Optics & Control, 2010, 17(12):60-63.
- [5] 程力. 装备战场抢修备件品种的优化确定模型[J]. 航空维修与工程,2006(4):55-57.
CHENG L. Optimizing model for the confirming of equipment battlefield maintenance spare parts varieties [J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2006(4):55-57.
- [6] 田瑾,赵廷弟,刘铮. 备件供应保障系统的动力学原理及动态性研究[J]. 航空学报,2007,28(5):1104-1109.
TIAN J, ZHAO T D, LIU Z. Dynamics principles and dynamic actions of supply support system for spare parts [J]. Acta Aeronautical Et Astronautical Sinica, 2007, 28(5):1104-1109.
- [7] 胡一繁,宋笔峰,王旭. 飞机战伤备件需求量确定方法[J]. 航空学报,2009,30(3):450-455.
HU Y F, SONG B F, WANG X. Ascertaining of spares requirements for aircraft battle damage[J]. Acta Aeronautical Et Astronautical Sinica, 2009, 30(3):450-455.
- [8] 侯满义,李曙林. 一种军用飞机战伤抢修性评价体系[J]. 航空维修与工程,2006(2):27-29.
HOU M Y, LI S L. An evaluation system of the military aircraft battle damage resilience [J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2006(2):27-29.
- [9] 张均勇,李武奇,奚邦志,等. 飞机战伤抢修性设计探析[J]. 中国工程机械学报,2009,7(4):478-483.
ZHANG J Y, LI W Q, XI B Z, et al. Investigation into combat resilience design for military aircrafts[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2009, 7(4):478-483.
- [10] 侯满义,李曙林,李寿安. 基于灰色关联层次分析的飞机战伤抢修性评价[J]. 电光与控制,2006,13(6):68-71.
HOU M Y, LI S L, LI S A. Evaluation of aircraft battle damage repair capability based on gray correlation—hierarchical analysis [J]. Electronics Optics & Control, 2006, 13(6):68-71.
- [11] 张均勇,李武奇,刘晓新,等. 飞机战伤抢修性设计评价方法的研究[J]. 飞机设计,2010,30(6):71-74.
ZHANG J Y, LI W Q, LIU X X, et al. Research on methods for evaluating the design of aircraft combat resilience [J]. Aircraft Design, 2010, 30(6):71-74.
- [12] 张均勇,李武奇,周平辉,等. 基于特征的飞机战伤抢修性集对分析评价模型[J]. 东北大学学报:自然科学版,2010,31(5):708-712.
ZHANG J Y, LI W Q, ZHOU P H, et al. SPA evaluation model based on characteristic feature of aircraft combat resilience [J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2010, 31(5):708-712.
- [13] 陈建海,冯杰. 基于 BP 神经网络的舰艇战损装备抢修排序[J]. 舰船科学技术,2011,33(7):126-129.
CHEN J H, FENG J. Research on battlefield equipment repairs ranking of warship based on BP neural network [J]. Ship Science and Technology, 2011, 33(7):126-129.
- [14] 颜炳斌,徐航,石全. 基于多准则的战损装备抢修排序决策模型[J]. 军械工程学院学报,2007,19(1):1-3.
YAN B B, XU H, SHI Q. Decision-making model for ranking battlefield damaged equipment repairs based on multi-criteria [J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2007, 19(1):1-3.
- [15] 陈永建,郭宜忠,姜志敏,等. 基于熵权多目标决策的雷达网战损装备抢修排序方法[J]. 军械工程学院学报,2008,20(5):19-21.
CHEN Y J, GUO Y Z, JIANG Z M, et al. A method for ranking battlefield damaged equipment repairs of radar net based on entropy weight multi-objective decision making [J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2008, 20(5):19-21.
- [16] 姚敏强,程智斌,林喜才,等. 时间和备件约束条件下的舰艇战场抢修决策[J]. 中国修船,2008,21(6):43-45.
YAO M Q, CHENG Z B, LIN X C, et al. Decision making of battlefield repair under the conditions limited by time and spares [J]. China Ship Repair, 2008, 21(6):43-45.
- [17] 陈建海,冯杰. 熵权和灰色关联在舰艇战损装备抢修排序中的应用[J]. 舰船科学技术,2011,33(3):131-134.
CHEN J H, FENG J. Application of entropy weight and grey relevancy to battlefield equipment repairs ranking of warship [J]. Ship Science and Technology, 2011, 33(3):131-134.
- [18] 吴勇,董蕙茹,王俊攀. M/M/C/m/m 排队系统模型的飞机战伤抢修研究[J]. 电光与控制,2009,16(4):90-

92.
WU Y, DONG H R, WANG J P. Research on queuing system M/M/C/m/m in aircraft battle damage repair [J]. *Electronics Optics & Control*, 2009, 16(4):90-92.
- [19] 赵晓明, 武昌, 齐胜利, 等. TPN 通信导航装备战场抢修系统建模[J]. *空军工程大学学报: 自然科学版*, 2007, 18(6):55-58.
ZHAO X M, WU C, QI S L, et al. Research on modeling for battlefield damage assessment repair system of communication and navigation equipment based on TPN[J]. *Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition*, 2007, 18(6):55-58.
- [20] 董成喜, 武昌, 郑志海. 基于有色 Petri 网的通信装备战场抢修效能评估[J]. *装备指挥技术学院学报*, 2006, 17(3):112-115.
DONG C X, WU C, ZHENG Z H. The effectiveness assessment on BDAR for communication equipment based on colored Petri nets[J]. *Journal of the Academy of Equipment Command & Technology*, 2006, 17(3):112-115.
- [21] 董成喜, 郑志海, 武昌. 基于 CPN 的通信装备战场抢修效能优化[J]. *空军工程大学学报: 自然科学版*, 2006, 17(4):75-78.
DONG C X, ZHENG Z H, WU C. BDAR system effectiveness optimization for communication equipment based on CPN[J]. *Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition*, 2006, 17(4):75-78.
- [22] 齐胜利, 武昌, 赵晓明. 基于 UML-BD 的通信装备战场抢修系统建模研究[J]. *军械工程学院学报*, 2007, 19(1):4-6.
QI S L, WU C, ZHAO X M. Study on modeling of communication equipment BDAR system based on UML-BD [J]. *Journal of Ordnance Engineering College*, 2007, 19(1):4-6.
- [23] 叶庆, 宋建柱, 陈春霞. 基于边需求的抢修分队选址问题[J]. *西南交通大学学报*, 2012, 47(3):495-501.
YE Q, SONG J Z, CHEN C X. Repairing unit location problem in background of mobile battle [J]. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2012, 47(3):495-501.
- [24] 孙宇. 基于蚁群算法的通信线路最佳抢修路径问题[J]. *电脑知识与技术*, 2011, 7(7):1619-1621.
SUN Y. Research for optimal repair path of communication lines based on ant colony algorithm [J]. *Computer Knowledge and Technology*, 2011, 7(7):1619-1621.
- [25] 叶珍. 基于 AHP 的模糊综合评价方法研究及应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
YE Z. Application and study of fuzzy comprehensive evaluation methods based on AHP [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.
- [26] 薛文格. 基于灰色关联分析的图像边缘检测研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2008.
XUE W G. Study on image edge detection based on gray correlation [D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2008.
- [27] 常建娥, 蒋太立. 层次分析法确定权重的研究[J]. *武汉理工大学学报: 信息与管理工程版*, 2007, 29(1):153-156.
CHANG J E, JIANG T L. Research on the weight of coefficient through analytic hierarchy process [J]. *Journal of Wuhan University of Technology: Information and Management Engineering*, 2007, 29(1):153-156.
- [28] 侯媛彬, 杜京义, 汪梅. 神经网络[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007.
HOU Y B, DU J Y, WANG H. Neural network [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2007.

(上接第 11 页)

5 结束语

通过对某型光电侦察平台目标定位系统定位误差的详细分析, 提出了利用非线性最小二乘估计侦察平台方位角和高低角的常值误差 $\Delta\alpha$ 和 $\Delta\beta$, 然后对系统进行修正。实验证明, 修正后的系统定位精度有较大幅度提高, 对于提高军队侦察能力和超视距精确打击能力具有重要意义。

参考文献

- [1] 毛昭军, 汪德虎. 姿态测量/激光测距的无人机目标定位模型[J]. *火力与指挥控制*, 2003, 28(5):15-17.
MAO Z J, WANG D H. A model of target position for UAV based attitude measuring/laser range finder [J]. *Fire Control & Command Control*, 2003, 28(5):15-17.
- [2] 何文涛. 无人机定位技术及其应用[J]. *光电技术应用*, 2003(5):3-6.
HE W T. UAV position technology and its application [J]. *Electro-Optic Technology Application*, 2003(5):3-6.
- [3] 孙超, 都基焱, 段连飞. 一种空间两点交会无人机定位方法[J]. *兵工自动化*, 2011, 30(6):35-36.
SUN C, DU J Y, DUAN L F. A technology of UAV positioning to target by two-point space rendezvous [J]. *Ordnance Industry Automation*, 2011, 30(6):35-36.
- [4] 姚新. 无人机提高目标定位精度方法研究[J]. *舰船电子工程*, 2011(10):56-59.
YAO X. Research on the improved orientation accuracy method of UAV [J]. *Ship Electronic Engineering*, 2011(10):56-59.