



无人机 后勤保障

UAV Logistics Support

李正  主编



中国工信出版集团

西北工业大学出版社

非
外
借



国之重器出版工程
国防现代化建设

无人机系统研究与应用丛书



无人机后勤保障

UAV Logistice Support

主编 李正

编者 李正 李斌



西北工业大学出版社
西安

【内容简介】 本书从工程角度出发,按装备系统全寿命过程系统地阐述无人机综合后勤保障涉及的技术及管理思想与方法,包括无人机综合后勤保障概念、特点与保障性分析,无人机后勤维修级别与维修性模型,无人机故障诊断与测试以及系统、结构测试方法、从环境适应性、可靠性、维修性、测试性方面满足保障性要求的设计原则与试验评价要素,后勤保障阶段资源与质量监控管理流程及方法,后勤保障信息化系统架构与数据分析等。

本书可供无人机设计、生产、使用、保障部门和单位的工程技术人员与管理人员参考,也可作为高等学校相关专业大学本科和研究生参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无人机后勤保障/李正主编. —西安:西北工业大学出版社,2018.5

国之重器出版工程

ISBN 978-7-5612-6009-8

I. ①无… II. ①李… III. ①无人驾驶飞机—
后勤保障 IV. ①V279

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 101465 号

WURENJI HOUQIN BAOZHANG

策划编辑:肖亚辉

责任编辑:孙倩

出版:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号

邮编:710072

电话:(029)88493844 88491757

网址:www.nwpu.com

印刷者:固安县铭成印刷有限公司

开本:710 mm×1 000 mm

1/16

印张:12.75

字数:221千字

版次:2018年5月第1版

2018年5月第1次印刷

定价:65.00元



《国之重器出版工程》

编辑委员会

编辑委员会主任：苗 圩

编辑委员会副主任：刘利华 辛国斌

编辑委员会委员：

冯长辉 梁志峰 高东升 姜子琨 许科敏

陈 因 郑立新 马向晖 高云虎 金 鑫

李 巍 李 东 高延敏 何 琼 刁石京

谢少锋 闻 库 韩 夏 赵志国 谢远生

赵永红 韩占武 刘 多 尹丽波 赵 波

卢 山 徐惠彬 赵长禄 周 玉 姚 郁

张 炜 聂 宏 付梦印 季仲华



专家委员会委员(按姓氏笔画排列):

- 于全 中国工程院院士
- 王少萍 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 王建民 清华大学软件学院院长
- 王哲荣 中国工程院院士
- 王越 中国科学院院士、中国工程院院士
- 尤肖虎 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 邓宗全 中国工程院院士
- 甘晓华 中国工程院院士
- 叶培建 中国科学院院士
- 朱英富 中国工程院院士
- 朵英贤 中国工程院院士
- 邬贺铨 中国工程院院士
- 刘大响 中国工程院院士
- 刘怡昕 中国工程院院士
- 刘韵洁 中国工程院院士
- 孙逢春 中国工程院院士
- 苏彦庆 “长江学者奖励计划”特聘教授



- 苏哲子 中国工程院院士
- 李伯虎 中国工程院院士
- 李应红 中国科学院院士
- 李新亚 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、中国
机械工业联合会副会长
- 杨德森 中国工程院院士
- 张宏科 北京交通大学下一代互联网互联设备国家工
程实验室主任
- 陆建勋 中国工程院院士
- 陆燕荪 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、原机
械工业部副部长
- 陈一坚 中国工程院院士
- 陈懋章 中国工程院院士
- 金东寒 中国工程院院士
- 周立伟 中国工程院院士
- 郑纬民 中国计算机学会原理事长
- 郑建华 中国科学院院士



- 屈贤明** 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、工业和信息化部智能制造专家咨询委员会副主任
- 项昌乐** “长江学者奖励计划”特聘教授，中国科协书记处书记，北京理工大学党委副书记、副校长
- 柳百成** 中国工程院院士
- 闻雪友** 中国工程院院士
- 徐德民** 中国工程院院士
- 唐长红** 中国工程院院士
- 黄卫东** “长江学者奖励计划”特聘教授
- 黄先祥** 中国工程院院士
- 黄 维** 中国科学院院士、西北工业大学常务副校长
- 董景辰** 工业和信息化部智能制造专家咨询委员会委员
- 焦宗夏** “长江学者奖励计划”特聘教授



前 言

近年来,多次局部战争中无人机在侦查、监视与打击方面的突出表现,使其在现代作战系统中的重要性越来越突出。无人机的高机动性与快速部署的特点,更适用于紧急作战需求。各国在纷纷研制与突破无人机作战效能、可承受能力、通用性、互操作性以及集成性等多种关键技术的同时,也深刻意识到想持久保持无人机战备完好性,实现“来之能战、战之能胜”的军事需求,必须要有相匹配的后勤保障体系。多次战时延误的事例也证明了全寿命周期内任一环节的后勤保障不力,都会导致战争态势的瞬息逆转。而无人机本身作为空、地、海协调配套的独立系统,具有空、地、海等多种复杂服役环境以及长期后勤存放等特点,加之越来越复杂的任务环境(如昼夜留空的侦查型无人机),其后勤保障的重要性尤显突出。美国国防部在“2013 无人飞行系统路线规划图”中明确提出了后勤保障的重要性及挑战性。

无人机的后勤保障问题涉及地面装备和空中无人机等无人机系统的方方面面,既关乎材料、设备及系统设计的合理性与先进性,又受到后勤阶段各种环境、使用维护以及各项管理措施的影响。如果孤立地从后勤阶段对装备能力的保障出发,不但费用消耗会远高于设计生产的费用,而且还难以确保装备能满足任务所需。因此,需要应用系统的观点加以综合分析,从无人机系统立项到保障使用全过程全面审视保障问题,从提出保障指标、设计并达到保障能力要求、测试发现后勤保障问题及维护维修恢复到要求水平,进行全系统全寿命保障。装备全系统全寿命保障的核心是在装备的设计、研制、生产、采购、补给、使用和报废的全过程中,把装备保障因素考虑进去,这样才能通过后勤阶段切实起到保障作用,从而提高装备全寿命期的战备完好性水平。



美国在“2013 无人飞行系统路线规划图”中明确提出了低成本/高可靠元器件与材料、复合材料的修补改进技术、有效预计后勤环境下寿命、健康诊断集成技术、集成制造以及维修零件制造、腐蚀控制等多项具体的可靠性、可用性以及维修性(RAM)技术的规划路线,从根本上来说,也是提高后勤保障水平的设计措施。然而,没有保障装备以及后勤阶段完善的测试能力和先进的维护维修技术,也难以保持既定的可靠性和战备完好性。而且随着军事技术的迅猛发展,新型武器装备对保障装备的依赖程度会越来越强。

大量的经费需求成为提高无人机系统可靠性与战备完好性的一个关键因素,而经济实力又限制了国防预算不能无限量增加。美国在 20 世纪末就致力于改进后勤管理模式,希望以更加高效的后勤系统来缓解费用与可靠性的矛盾。因此,科学的后勤管理成为优化整合后勤阶段人、财、物并保持各种设计能力的有效手段。传统的保障做法已经不能满足现代快节奏的战争需要,而且信息化战争的需求使快速反应、精确保障成为必然发展趋势。后勤网络和信息化技术会使无人机的后勤保障更加便捷和高效。

本书希望从无人机全寿命周期后勤保障的角度,兼顾保障性涉及的工程与管理两方面,重点探讨相关技术涉及的内容和方法,梳理出提高无人机后勤保障能力应该重点开展的技术研发与管理研究等方面的工作。全书共分为七章,包括无人机后勤保障的定义与内容、无人机保障性分析、无人机后勤保障维修技术、无人机后勤保障测试技术、影响无人机后勤保障的设计因素、后勤保障管理技术以及后勤保障的信息化技术。

本书是在参阅诸多文献资料的基础上,结合编者的科研成果与工程实际经验编写而成的。其中第 4 章由李正、李斌编写,其余章节由李正编写。在本书编写过程中,白风宇、雷鹏、周嘉伟、张驰等学生参加了资料收集、图表编辑等工作。

本书尽可能从无人机系统后勤保障的通用流程出发,阐述装备系统全寿命期内的后勤保障活动及内容,可作为无人机后勤保障技术的通用大纲,为无人机设计单位、使用单位以及相关专业技术人员开展相应的后勤保障工作或研究提供参考。

由于知识和经验的局限性,本书的不妥之处在所难免,诚望广大读者批评指正。

编者

2018 年 1 月



目 录

第 1 章 无人机后勤保障的定义与内容	001
1.1 后勤保障简介	002
1.2 后勤保障的概念	003
1.3 后勤保障的主要内容	009
1.4 无人机后勤保障发展现状	017
参考文献.....	019
第 2 章 无人机保障性分析	021
2.1 无人机后勤特点及保障内容	022
2.2 保障性分析内容	032
2.3 保障性分析流程	036
2.4 保障性分析分工与职责	039
参考文献.....	040
第 3 章 无人机后勤保障维修技术	041
3.1 维修性概述	042
3.2 无人机系统维修特点	049
3.3 维修性模型	060
3.4 以可靠性为中心的维修(RCM)	066



参考文献	078
第4章 无人机后勤保障测试技术	079
4.1 测试性概述	080
4.2 故障诊断与测试分析	089
4.3 测试性模型	093
4.4 无人机系统功能测试	096
4.5 无人机结构性能测试	100
参考文献	109
第5章 影响无人机后勤保障的设计因素	111
5.1 环境适应性设计	112
5.2 可靠性设计	119
5.3 可维修性设计	128
5.4 测试性设计	134
5.5 设计因素间的关系	141
参考文献	143
第6章 后勤保障管理技术	145
6.1 后勤保障管理	146
6.2 资源综合保障	153
6.3 后勤阶段质量监控技术	158
参考文献	168
第7章 后勤保障的信息化技术	169
7.1 信息化的定义与内涵	170
7.2 后勤保障信息系统	175
7.3 数据信息	178
参考文献	190



第1章

无人机后勤保障的定义与内容

军事后勤保障的形式与内容随战争的产生与发展而不断演变和发展。从冷兵器战争、热兵器战争、机械化战争到信息化战争等不同发展时期,后勤活动的总体需求及保障重点各不相同。从产品全寿命周期的角度,提出无人机综合后勤保障的定义、了解综合后勤保障的意义、明确综合后勤保障内容及涉及的参数体系,便于在了解无人机后勤保障能力与现状的情况下对综合后勤保障的概念进行全面了解。

| 1.1 后勤保障简介 |

产品综合保障是 20 世纪 60 年代兴起的一门学科,在军用飞机研制中称为“后勤保障”,在民用飞机研制中称为“产品支援”。维基百科对后勤保障的解释是军队的后勤对前方各项工作的保障。它主要包括给养等物资保障和技术保障、交通保障等全面、及时、不间断的后勤保障,是巩固和提高部队战斗力、完成作战和各项任务的重要保证。

后勤保障问题一直是兵家征战期间战事地位保障的关键。我国古代就有“兵马未动,粮草先行”之说,在西方,被誉为“兵圣”的德国军事家卡尔·冯·克劳塞维茨在其著作《战争论》中著有“补给”一章专门论述后勤补给,可见后勤保障的重要性。在不同的发展时期,对后勤的总体需求有所不同,而且不同的战争形式,后勤的保障重点也不同。在目前以信息技术为主的信息化战争中,后勤保障的广度和宽度都在发生巨大变化,只有在处于信息大系统中的各种作战系统后勤保障及时到位的基础上,才有可能对整体大系统起到支撑和保障作用,否则,任何一个环节的保障出现问题,都将导致无法实现全系统的功能。

随着科学技术的进步,无人机的使用规模和应用领域大幅增加,对后勤的依赖性也越来越大,后勤支持得力与否成为系统初始功能能否实现的关键影响因素。作为未来空域的一个关键部分,要保证快速部署与高机动性能,包括地面控制系统与无人空中飞行器都需要有完善的保障措施。因此,无人机寿命周期各



阶段明确的后勤保障技术、方法、规则与流程,对于实现预定功能、预防或修正可能出现的重大问题具有不可估量的积极作用,甚至可以说,无人飞行系统与有人飞行系统的后勤保障是相同的。

后勤保障不是一个孤立的寿命阶段。以实现飞机完好性为目标,保障活动虽然主要在应用阶段进行,但保障能力的实现需要贯穿在无人机系统的全寿命周期,必须要通过设计体现、制造实现、复杂使用环境下性能保持与维护等多阶段、多剖面的综合协调。因此,无人机的后勤保障过程是一个流程长、时域宽、地域广、环节多的复杂系统工程,对其保障技术的研究需要综合应用工程专业技术与管理技术等多种技术手段。

| 1.2 后勤保障的概念 |

1.2.1 后勤保障起源与发展

军事后勤保障活动是随着战争的产生而产生的,随着冷兵器战争、热兵器战争、机械化战争、信息化战争等战争史上不同的战争形态对战争规模、资源消耗、专业化水平的发展要求而不断演变和发展。

1.冷兵器战争时代

冷兵器战争的最初阶段,军事后勤保障模式只是单兵的“自给自足”,即自行携带、自我保障。到冷兵器后期,依托后方供给的后勤保障模式逐步发展,粮草、车马和武器的后勤保障制度和机构逐步建立。如秦汉时期,从中央、地方到边疆已经有机构与官员负责各项后勤保障;在同期的古罗马,也出现了“军需官”等后勤运作官员。该时期的后勤保障为“以战养战模式”,从编组形式、管理训练、组织指挥到方法选择上,都处处烙下农业、手工业时代的印记。我国从汉武帝开发西域的军屯部队,曹魏、唐、宋、明的军屯、官屯兼行,到成吉思汗民族大迁徙式的远征军和努尔哈赤的八旗制度,大凡具有持久保障能力的后勤,多为兵民合一结构。部队开到哪里,社会的经济活动就被带到哪里,部队远征往往赶着牲畜,携带所有生产、生活资料,甚至兵器、盔甲也要自己打造,物资来源主要是“取用于国,因粮于敌”、实行屯田等。在武器装备管理制度上,已经形成了武器生产“物勤工铭”、武器出入库严格登记、军马烙印造册、医疗巡接诊、军费会计簿等一系列较完备的管理制度,运行管理也相当严格规范,使得其保障得以有序进行。



2. 热兵器战争时代

火药兵器的使用使后勤保障模式和制度产生了新的发展和变化。到热兵器战争后期,后勤保障已由就地供应为主完全转变为后方供应为主。由于弹药物资消耗量与装备的损坏率均大大增加,后勤保障组织机构开始独立,并与军事部门平行,部分国家成立了专门的组织机构。我国晚清时期,袁世凯组建北洋新军,军事后勤开始正式自成体系,建立了自己的仓库、医院和工厂等实体。而且军事后勤总体上虽然仍是统一保障形式,但是随着海军、空军的建立,各军兵种逐渐脱离了陆军系统,开始实行自我保障,三军分供体制初步形成。三军由于至少有 80% 的保障产品是相同的,因而也存在人力、物力等资源上的浪费。随着汽车、轮船、铁路运输的问世,运输手段不断改进,后勤保障方式开始了由伴随保障向伴随保障、接力保障并举发展。如我国清朝时期,清军在朝鲜战场上战线长达三四千米,清政府组织了关内、关外两条运输线,设立了数个供应局,进行接力运输保障。

随着战区的组织形式开始出现,区域化基地保障初露,逐步发展为主要依托兵站、仓库组织后勤保障。如清朝海军建立后,分别组成了北洋、南洋两大战区,每个战区内有一定的后勤机构。民国时期,国民党军队在 20 世纪 30 年代建立了 5 个战区,每个战区内设立若干个野战兵站进行保障,兵站的形成是区域化基地保障的雏形。到了 20 世纪 40 年代联勤体制建立,基地保障进入成熟阶段。基地保障不仅划区明确、辐射面宽,当时全国建立了 19 个供应区,覆盖了全国各个地区,而且供应、生产一体化,每个供应区不仅掌握仓库、医院、运输、工程、警卫部队,还负责军工生产任务,掌握部分兵工厂,使其保障功能相对配套齐全。

3. 机械化战争时代

在机械化战争时代,后勤保障在战争中的作用完全被人们认识和肯定,军事后勤保障系统得到了极大发展。作为机械化战争典型代表的第二次世界大战是军事后勤发展过程中一个具有决定性意义的重要阶段,战争中极为丰富的后勤保障实践表现出现代战争后勤的诸多基本特征,而且对后来各国军队建设甚至近期几场高技术局部战争的后勤保障都产生了极其深远的影响。其主要特点包括以下几方面:

(1) 后勤保障系统开始模块化、功能化

第二次世界大战期间,一艘航空母舰乘员已达 1 000 余名,需要几十个部门保障,每天消耗油料几百吨。20 世纪 30 年代纵横于战场的坦克、火炮、装甲车、轰炸机等都毫无例外地需要专门的后勤部/分队来保障,如太平洋战争中,美国



海军和陆军的后勤保障划分为交换勤务、共同勤务和联合勤务三种进行分门别类地组织实施；实行统供与分供相结合的保障体制，如海湾战争的“沙漠盾牌”行动中，美军对通用物资和专用物资实行了统分结合、上统下分的保障方式，使后勤力量得以集中使用，对保障诸军兵种联合作战起到了重要作用。

(2) 联合后勤保障模式开始正式出现

诸军兵种之间联合作战的兴起，牵引军事后勤走上了联勤保障的道路。第二次世界大战中，苏联成立了陆海空军防御地域统一的联合后勤，战役后勤部门由濒海集团军和海军基地的后勤指挥机关和部队联合组成。1944年6月盟军诺曼底登陆，美军建立了战区联勤体制，指定陆军统管三军给养，海军统管三军油料采购。在第二次世界大战之后的诸多战争中，三军联勤保障的应用越来越完善，联合后勤保障理论成为各国军事部门和研究机构竞相研究的热点。很多军事后勤专家认为，第二次世界大战展露的联合作战后勤保障理论，是军事后勤保障史上的一座丰碑。为了克服后勤保障滞后性造成部队行动的羁绊，促使后勤保障规章制度建设走向规范化。世界主要军事大国后勤保障不仅注重后勤保障各级战备值班制度建设，而且制定、完善各种应急保障的后勤战备方案，组建快速反应的后勤保障分队等，以切实提高后勤的快速保障能力。

战争历来都有两重性，规模空前的机械化战争，给人类带来了深重灾难，也对经济和科技的发展产生了重要的推动力。在第二次世界大战交战方围绕经济力量和组织力量进行的大对抗、大较量中，后勤保障社会化也取得了长足的发展，既大大提高了后勤的保障效率、反应速度和整体保障能力，而且其军事经济效益也得到了很大提高。海湾战争中，美国政府80多个经济和技术部门为军队筹集作战经费和物资；38家航空公司、几十家海运公司、7个州的铁路部门和数百家汽车运输公司为美军提供运输服务；73家公司供应食品、服装和药品，1/3的民用企业紧急生产沙漠地区作战所急需的装备和物资，总价值达284.6亿美元。而到科索沃战争、阿富汗战争和伊拉克战争时，美军后勤保障中的民营成分进一步增加，其军队物资采购、运输、储存和分发，主要由民营企业承担。

(3) 后勤保障依托范围开始国际化

机械化战争在促进军队后勤系统的自身建设与发展方面起到了不可估量的作用，同样也进一步推进了世界军事后勤发生深刻的变革，促使世界军事强国深入地探索后勤发展的思路、模式和目标。由此，国际后勤理论也在第二次世界大战中产生并获得了发展。

国际后勤是指国际军事斗争中多个国家或地区的军队为达到共同的战争目的，在人员、物资、经费、设施和服务等方面实行统一协调、相互支援、相互合作的后勤保障活动。国际后勤作为一种合作架构，按照合作的形式可分为五种基本



类型:军事同盟型、随机支援型、民间援助型、多国维和型、军品贸易型。

4. 信息化战争时代

机械化战争对科技进步的重要促进,为信息化战争时代的来临提供了技术基础。信息化战争是以军事体系信息化为基本标志的。通常认为,信息化战争是以 20 世纪 90 年代发生的海湾战争为起点,此后的“沙漠之狐”行动、科索沃战争以及阿富汗战争,是孕育信息化战争雏形的“母体”,是机械化战争形态向信息化战争形态转变的过渡,伊拉克战争则是世界从工业化时代向信息化时代转变中的一场信息化战争。战争形态发生了质的变化,必然导致后勤保障发生质的变化。

信息技术和新概念武器在军事领域的广泛运用,提高了现代武器装备的打击精度和部队的远程机动能力,后勤保障精确化理念应运而生,并成为信息化战争后勤保障的重要支撑。精确保障,就是在准确的时间和地点为部队作战提供准确数量与质量的物质技术保障,即适时、适地、适量保障。它包括对后勤信息的精确掌握、对后勤资源的精确输送和后勤力量的精确运用三方面要求。随着精确后勤保障理念和目标的确立,针对信息化作战后勤保障指挥空间多维化、保障内容多元化和协同单位多头化的趋势,世界主要军事强国军队纷纷开始实施新的后勤战略。依托科技和社会资源建立超常的后勤保障编组,实现立体配送、联合聚焦和军民一体保障,成为 21 世纪军事后勤保障发展和演进的主要方向。

1.2.2 后勤保障的定义

只偏重飞机性能的传统研制方法,对飞机保障条件的考虑缺乏协调性和配套性,使部队在实际使用时出现技术资料不齐全、故障检修困难、备件供应不及时等一系列问题,导致飞机的出勤率不高,难以形成有效战斗力。后勤保障正是解决这些问题的有效方法。

后勤保障的内涵是逐步发展形成的,其定义也历经多次变化。通常的后勤保障是军队组织实施物资经费供应、医疗救护、装备维修、交通运输等各项专业勤务保障的总称。随着装备全寿命周期对保障需求的发展,单纯的使用阶段的保障已转向全寿命阶段的保障,故而提出了“综合后勤保障”的概念。针对综合后勤保障的实质性内容,文献[2]将后勤保障定义为“为实现战备完好性目标,在装备设计中综合考虑保障问题,以改善其保障特性并确定最佳的保障要求,合理地采办保障资源,以最低费用为使用方提供所需保障的综合管理和技术活动”。我国《装备综合保障通用要求》(GJB3872—1999)将装备综合保障定义为“在装