

悬挂物管理系统

XuanGuaWu GuanLi XiTong



冯金富 孙杰 胡俊华 魏贤智 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

悬挂物管理系统

冯金富 孙杰 胡俊华 魏贤智 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是作者长期从事悬挂物管理系统理论教学、科学研究和实践工作的总结,结合国内外该领域的已有研究成果及最新发展动态,全面系统地阐述了悬挂物管理系统的基本原理、构型、组成要素以及机载悬挂物的管理控制机理;在此基础上,结合工程实践,详细讨论了系统的可靠性和安全性设计理论与方法,并基于HLA仿真技术论述了系统仿真平台的设计与实现。书中每章都附有相关参考文献,可辅助读者进行扩展阅读。

本书理论体系完整、材料取舍适当,主要读者对象为航空兵器工程及相关专业大学本科高年级学生和研究生;同时,适合从事悬挂物管理系统研制、设计、开发、使用、操作等方面的科研人员 and 专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

悬挂物管理系统 / 冯金富等编著. —北京:国防工业出版社, 2009. 11

ISBN 978 - 7 - 118 - 06535 - 0

I. 悬... II. 冯... III. 飞机外挂物 - 系统管理 IV. V222

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 165350 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 960 1/16 印张 18 1/4 字数 324 千字

2009 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 48.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

本书编委会

冯金富	孙 杰	胡俊华	魏贤智
徐 虎	刘 安	许凌权	张佳强

前 言

悬挂物管理系统是现代军用飞机必不可少的航空电子设备之一,其性能高低对武器作战效能具有举足轻重的作用,伴随着科学技术的不断发展,相继经历了模拟式、混合式和数字式等发展阶段,以开放式体系结构为特征的新一代悬挂物管理系统代表其最新发展方向。

本书是国内第一部较系统全面地阐述悬挂物管理系统的编著教材,凝聚了作者十多年的潜心研究和实践成果,介绍了悬挂物管理系统的发展概况,阐述了系统构型、控制技术、电气连接关系、武器总线、悬挂物控制和管理、系统的可靠性及安全性,论述了系统的仿真技术,展现出了一个全面的、系统化的知识结构,具有很强的概括性和普适性。

全书共分为9章。第1章绪论介绍悬挂物管理系统的基本概念、起源发展、常见术语,着重论述了集中式、分布式、开放式系统的物理结构和实现原理,给出了DSMS数字式悬挂物系统的组成要素;第2章介绍顺序控制技术,详细阐述了顺序控制的基本控制原理,包括逻辑式、步进式、可编顺序控制技术,建立了顺序控制系统的数学模型,给出了系统状态空间描述,概括了静态系统与动态系统的主要特征,讲解了顺序控制的处理方法、处理内容以及系统外围电路,举例分析了顺序控制技术在悬挂物管理系统的应用;第3章介绍飞机/悬挂物电气连接系统,主要是围绕三大技术要素,即电气要素、物理要素和逻辑要素,分析了AEIS六类接口的技术特性,并根据不同方案设计了接口电路;第4章介绍悬挂物管理系统的武器总线,包括GJB 289A总线和ARINC429总线的特征、数据格式和通信控制原理,重点探讨了GJB 289A与ARINC429武器总线的转换机制和实现逻辑,并概述了武器总线的发展方向;第5章介绍悬挂物管理系统对机载悬挂物的管理过程,包括悬挂物初始化、悬挂物准备、悬挂物发射等阶段的控制管理,阐述了武器使用方案的选择方法以及实现悬挂物管理所必需的外部交连关系;第6章介绍机载武器的控制流程,按照制导武器、非制导武器和即射武器的分类方法,详细阐述了各型机载武器的战术、应急发射控制逻辑和流程;第7章分析了悬挂物管理系统可靠性的影响因素,讨论了系统在论证阶段、方案阶段和工程研

制阶段进行可靠性设计的内容与方法;第8章根据机载武器系统对安全性的特殊要求,讨论了悬挂物管理系统的安全性工程,阐述了系统危险性分析和软、硬件安全性设计方法;第9章介绍HLA仿真技术及其在悬挂物管理系统仿真中的应用,详细阐述了基于HLA的悬挂物管理系统仿真平台的设计与实现方法。

本书第1章~第3章由冯金富执笔,第4章由魏贤智执笔,第5章和第6章由胡俊华执笔,第7章和第8章由孙杰执笔,第9章由徐虎和刘安执笔,冯金富对全书进行了仔细的统编和校核,许凌权、张佳强等同志参与了图形绘制与编辑工作。在编写过程中,得到了空军工程大学、中航613研究所和有关同志的大力支持与帮助,在此表示衷心的感谢!

本书理论体系完整,材料取舍得当,可供航空兵器工程及相关专业本科高年级学生和研究生学习参考;同时,适合从事悬挂物管理系统研制、开发、使用和教学的相关人员参考。

尽管我们做出了最大努力,但本书涵盖内容广泛,错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者不吝赐教,我们将深表谢意。

编著者
2009年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 起源与发展	1
1.1.1 起源与雏形	2
1.1.2 发展与现状	2
1.1.3 未来与趋势	3
1.2 名词术语及解释	5
1.3 SMS 系统构型	9
1.3.1 集中式系统构型	9
1.3.2 分布式系统构型	10
1.3.3 开放式系统构型	11
1.4 DSMS 组成	13
1.5 悬挂和投放装置	14
1.5.1 悬挂装置	14
1.5.2 发射装置	15
参考文献	17
第 2 章 顺序控制技术	19
2.1 引言	19
2.2 逻辑式顺序控制技术	22
2.2.1 旁路控制原理	22
2.2.2 逻辑式顺序控制器组成	26
2.3 步进式顺序控制技术	40
2.3.1 步进式顺序控制器组成	41
2.3.2 步进式顺序控制器原理	42
2.3.3 步进式顺序控制器功能	44
2.4 可编顺序控制技术	45
2.4.1 可编顺序控制器结构	45
2.4.2 可编顺序控制器工作过程	47

2.4.3 可编程顺序控制器特点	48
2.5 顺序控制系统的数学模型	48
2.5.1 可编程控制器动作描述	49
2.5.2 控制装置构型	50
2.5.3 控制对象构型	51
2.5.4 系统状态空间描述	51
2.5.5 应用举例	52
2.6 控制对象特征	55
2.6.1 静态系统与动态系统	55
2.6.2 反馈控制与顺序控制	56
2.7 顺序控制处理方法	59
2.7.1 组合逻辑	62
2.7.2 状态保持与解除	63
2.7.3 状态变化的检测	63
2.7.4 联锁	63
2.7.5 切换操作	64
2.7.6 基于顺序的处理	65
2.7.7 顺序的控制	65
2.7.8 控制的同步	65
2.7.9 竞争的处理	67
2.7.10 反复控制	67
2.8 控制器处理内容和外围电路	67
2.8.1 控制器处理内容	68
2.8.2 输入信号与输入回路	69
2.8.3 输出信号与输出回路	70
参考文献	71
第3章 AEIS 电气连接系统	72
3.1 概述	72
3.2 电气要素	72
3.2.1 接口信号构成	72
3.2.2 接口信号功能	74
3.2.3 接口信号组分类	75
3.3 接口信号技术分析	76
3.3.1 高带宽信号	76

3.3.2	低带宽信号	81
3.3.3	离散信号	82
3.3.4	数字信号	84
3.3.5	光纤信号	85
3.3.6	电源信号	85
3.4	接口信号设计	88
3.4.1	高带宽信号设计	88
3.4.2	低带宽选路网络设计	91
3.4.3	离散信号设计	92
3.4.4	数字总线信号设计	95
3.4.5	电源信号设计	97
	参考文献	99
第4章	武器总线	100
4.1	概述	100
4.2	GJB289A 武器总线	101
4.2.1	总线特征	101
4.2.2	数据格式	103
4.2.3	通信控制	106
4.3	ARINC429 武器总线	123
4.3.1	总线特征	124
4.3.2	数据格式	125
4.3.3	通信控制	128
4.3.4	俄制总线 ГОСТ18977	129
4.4	GJB289A 与 ARINC429 总线的转换	132
4.4.1	总体设计	132
4.4.2	GJB289A 总线模块设计	133
4.4.3	多通道 ARINC429 总线模块设计	134
4.4.4	接口逻辑设计	137
4.5	SMS 数据总线的发展方向	139
4.5.1	光纤通道协议结构	141
4.5.2	光纤通道拓扑结构	143
4.5.3	光纤通道分类服务	144
4.5.4	光纤通道的应用	145
	参考文献	149

第5章 悬挂物管理	151
5.1 概述	151
5.2 悬挂物初始化	151
5.2.1 悬挂物消息查询与确定	151
5.2.2 悬挂物初始化管理	153
5.3 悬挂物准备	154
5.3.1 武器方案选择问题的数学描述	154
5.3.2 武器类型选择	159
5.3.3 武器方案选择的实现	164
5.4 悬挂物发射控制	166
5.5 系统的外部交连	169
5.5.1 系统输出信息	170
5.5.2 系统接收信息	171
参考文献	172
第6章 悬挂物控制	173
6.1 概述	173
6.2 制导武器控制	173
6.2.1 红外近距导弹的控制	173
6.2.2 半主动雷达制导导弹的控制	175
6.2.3 电视制导空地导弹的控制	178
6.3 非制导武器控制	179
6.3.1 空地火箭弹控制	179
6.3.2 航空炸弹控制	180
6.4 即射武器控制	181
6.5 悬挂物应急控制	187
参考文献	188
第7章 系统可靠性设计	189
7.1 概述	189
7.2 基本理论	189
7.2.1 可靠性的度量	189
7.2.2 可靠性的数量特征	190
7.2.3 故障率曲线	193
7.2.4 系统的可靠性预测	195
7.2.5 复杂系统可靠性分析方法	197

7.3 悬挂物管理系统的可靠性分析	197
7.3.1 不可修复器件可靠性分析	197
7.3.2 可修复器件可靠性分析	203
7.3.3 可靠性分布参数的估计	206
7.3.4 可靠性故障分布的拟合优度检验	210
7.4 悬挂物管理系统的可靠性设计	214
7.4.1 可靠性设计准则与保证措施	214
7.4.2 可靠性工程阶段的划分	216
7.4.3 论证阶段可靠性设计	216
7.4.4 方案阶段可靠性设计	217
7.4.5 工程研制阶段可靠性评估	219
7.4.6 设计定型与鉴定阶段可靠性检验	220
参考文献	221
第8章 系统安全性工程	223
8.1 安全性工程	223
8.1.1 定义	223
8.1.2 安全性工作任务	224
8.1.3 危险性分析	225
8.1.4 风险评估	227
8.1.5 悬挂物管理系统安全性	228
8.2 硬件安全性设计	229
8.2.1 硬件安全性通用设计要求	229
8.2.2 正常悬挂物发射/投放联锁控制电路设计	230
8.2.3 应急悬挂物发射/投放电路设计	231
8.3 软件安全性设计	232
8.3.1 关键信号处理	232
8.3.2 安全性条件的构成	232
8.3.3 非正常条件下的软件安全性	234
8.4 安全性测试	234
8.4.1 不安全因素分析	234
8.4.2 安全性试验	235
8.4.3 测试要求及测试环境	236
参考文献	236
第9章 系统仿真技术	237

9.1 概述	237
9.2 HLA 及其仿真开发模型体系	238
9.2.1 高层体系结构介绍	238
9.2.2 高层体系结构概述	239
9.2.3 联邦运行支撑环境(RTI)	241
9.2.4 联邦开发和执行过程	243
9.2.5 HLA 仿真开发模型体系	243
9.3 基于 HLA 仿真平台的建模与设计	244
9.3.1 基于 HLA 的 SMS - SP 联邦开发体系	245
9.3.2 SMS - SP 联邦分析与设计	245
9.3.3 SMS - SP 联邦概念模型设计	248
9.3.4 SMS - SP 联邦剧情模型设计	248
9.3.5 SMS - SP 的 FOM/SOM 设计	254
9.3.6 SMS - SP 实时计算机设计	255
9.4 基于 HLA 的悬挂物管理系统仿真平台的实现	261
9.4.1 SMS - SP 软件开发环境	261
9.4.2 SMS - SP 时间管理机制和消息传递方式	262
9.4.3 SMS - SP 的仿真资源管理	262
9.4.4 SMS - SP 仿真应用软件实现	264
9.5 仿真平台应用举例	269
参考文献	272
附录 符号、代号和缩略语	275

第1章 绪 论

军事竞争与军事冲突是推动新的战争理念的主要动力,而先进的战争理念又孕育了新的先进概念和先进技术,新概念、新技术不断发展、不断成熟,又促进了军事变革的不断前进。现代军事战斗环境以愈益增加的敌军地面、海面 and 空中目标的数目及围绕这些目标的愈益复杂的敌对空间环境为特征,促使战争模式发生巨大变化,以中远程精确空中打击和空中对抗为主要特征的空战已成为现代战争的主要模式。这种变化要求及时地改善现役及下一代军用飞机遂行任务的杀伤力和生存力,使空中作战平台朝多用途方向发展:既有优良的空对空作战优势,又有空对地全天候攻击能力。

为了满足执行两种或两种以上战术任务的需要,多用途飞机需携带更多更复杂的悬挂物,除航空武器(航炮、导弹、航箭、炸弹)外,还包括副油箱、撒布器、电子对抗吊舱、导航吊舱和光电吊舱等^[1]。对现代高性能战斗机来说,悬挂物的最大携带能力可达正常起飞重量的 30%,多的甚至可以达到 60%。悬挂物的数量和复杂性的增加,使得对悬挂物的管理和控制变得越来越重要,据美军于 20 世纪 80 年代中期成立的机载设备作战效能分析联合专家小组在对各类航空电子设备进行分析研究后得出的结论表明:军用战斗机的作战效能与飞机气动性能的一次方成正比,与武器本身性能的三次方成正比,而与机载武器控制系统性能的四次方成正比,可见机载武器控制系统(悬挂物管理系统)在整机航空电子系统中占有极其重要的作用和地位。

1.1 起源与发展

悬挂物管理系统(Store Management System, SMS)是用于监控飞机悬挂物(主要是各种武器、吊舱、散布器、副油箱等)的工作状态,管理悬挂物与飞机其他分系统的通信以及提供发射/投放控制信息的航空电子分系统^[2]。SMS 是机载武器系统的重要组成部分,通过与其他航空电子分系统协同工作,它能够完成悬挂物的装定、类型识别、状态监视以及武器选择、作战方式选择、作战准备、攻击占位、发射、投放等功能。悬挂物管理系统性能的高低直接影响机载武器系统实现战斗有效性的程度,而它的发展进程与战争样式、科学技术和机载武器的发展

展相适应。

1.1.1 起源与雏形

国外在悬挂物管理系统方面的研究起步较早。20 世纪 50 年代,当时飞机配备的武器是航空机关炮和一些简单的悬挂物,空战样式以近距尾追攻击为主,定轴发射的红外近距空空导弹到后期得到应用。由于当时的飞机配备的武器均为外挂形式,故称之为外挂物管理系统。系统的设计需求是基于当时的军用飞机所能够携带的简单外挂物,系统构型配置仅仅包括一些座舱控制及显示装置、武器投放控制面板以及用于触发悬挂物发射或投放的多挂架接口装置。它们通过系统内部或外部敷设的一些中继型逻辑线路和专用线缆互连起来,并包含一个与其他一些航空电子系统的有限程度的接口,控制相应悬挂点继电器工作的机载武器开关组合,通过座舱内不同电门的通断组合,控制相应的悬挂物工作。悬挂物在座舱的显示一般为较原始的指示灯,只能显示悬挂物的有无,不能显示悬挂物的数量、状态和准备情况等相关的投放信息。因而从拓扑结构和系统工程的严格意义上仅可称之为“直接硬线控制式”组合电子设备。它只能悬挂简单、固定的悬挂物,悬挂物接口功能单一,灵活性、互换性差,对新武器或特种外挂物无扩展能力。

1.1.2 发展与现状

1. 模拟式

20 世纪 60 年代,飞机配备的武器主要是具备小离轴角发射能力的近距红外空空导弹,空战样式为视距内离轴发射攻击,半主动雷达制导空空导弹在后期得到应用。当时的悬挂物管理系统各部件通过专用的离散线相联系,通过延迟逻辑和专用导线对悬挂物进行管理,故称为模拟系统。此系统通常包括一个与其他航空电子系统(如火控系统、瞄准系统、导航系统等)通信的接口。对装备此种系统的飞机增加新武器需要增加特定的附加设备和做较大的系统结构改动,其武器扩展性、灵活性较“直接硬线控制式”虽有所增强,但还是不能满足武器扩展的需求。

2. 数字式

20 世纪 70—80 年代,随着数字技术、微处理器件以及软件技术应用产品的逐渐成型,以美国空军为主要代表的“数字式模块化”悬挂物管理系统问世。20 世纪 70 年代初,美国空军实施“数字式航空电子信息计划(DAIS)”,悬挂物管理系统即该计划的组成部分之一^[3]。这种悬挂物管理系统以数字式多路传输总线为基础,对显示和控制进行综合,用软件的控制算法取代了飞行员对悬挂物的

部分人为控制,大大地减轻了飞行员的操作负担。70 年代中期,美国空、海军提出了先进飞机武器系统计划(AAAS),加强飞机悬挂物管理系统、悬挂投放设备和悬挂物的通用化、系列化和模块化。80 年代初,美国空军以“宝石柱”计划为契机,将超高速集成电路的航空电子模块、高速数据总线、系统海量存储器和 Ada 编程语言用于悬挂物管理系统,提高了系统综合化、模块化和通用化水平。

3. 智能式

20 世纪 90 年代以后,随着传感器、数据融合和人工智能(AI)等技术的不断发展,以及空对空、空对地超视距协同多目标攻击样式的兴起和迅速发展,以 F-22 为代表的新一代先进战斗机,通过更加广泛地采用多传感器数据融合、综合座舱技术、综合悬挂物管理、人工智能等高新技术和先进设计理念,使悬挂物管理系统的体积和重量减少,成本降低,同时提高了可靠性、维修性、测试性和通用性。更为重要的是,新型悬挂物管理系统具备悬挂物监控及投放/发射自动化、空战态势评估和战术决策等减轻驾驶员工作负担的自主决策能力,从而标志着“智能式”悬挂物管理系统正式投入使用。这不仅使得美空军武器装备在美三军甚至北约范围内有良好的互用性,而且系统能够在复杂作战环境下帮助驾驶员了解战场情况,以选择适当的武器使用方案 and 对抗措施。

1.1.3 未来与趋势

在可以预见的未来 20 年~30 年内,具有通用开放式体系结构框架,集指挥控制、综合通信、火力协调、防空指挥、电子对抗、后勤支援等于一身的完整体系作战系统将得到研发和应用。各作战单元通过数据链路连网,极大提升指挥决策的速度、部队的快速反应能力和精确打击能力,同时改变传统的军队战斗力生成方式和构建方式,进而产生所谓的连网杀伤能力。连网杀伤能力的主要特点是各作战单元能够利用数据链路连网实现战场态势实时信息的共享,动态地改变作战计划,并迅速对其他作战单元的要求做出响应。

在通用开放式体系结构框架下,悬挂物管理系统最明显的特征是实现不同武器的即插即用(Plug and Play, PnP)功能。

1. 即插即用武器集成的概念

即插即用武器^[4]集成是指通过建立开放式的系统构型、软件框架,制定通用化、标准化的系统互连接口,提高悬挂物管理系统与武器之间的互用性和通用性,实现由设计时段(以年计)的武器综合转变为应用时段(以周计)的武器综合。

2. 即插即用武器集成的原理

即插即用武器集成的基础一是标准的硬件接口,二是标准的软件接口,三是开放式的系统体系结构。为实现武器的即插即用功能,首先需要制定作战平台与

武器之间的统一的、标准化的硬件接口标准,保证作战平台与各种武器在物理接口上的统一性。同时,制定武器与作战平台之间的软件接口标准,满足各种武器的通用要求。软件接口通用化的实现要求即插即用悬挂物管理系统软件与悬挂物所使用的软件同时具有平台无关性,或平台独立性,能够实现软件的跨平台移植。

即插即用武器系统实时搭建的核心技术包括分布式实时操作系统和作为基础结构的网络资源。战场态势信息和武器使用信息的传输则依赖通用格式的任务数据。即插即用的武器集成方法实现了执行平台特定模型的动态生成和绑定,使任务策略和武器配置数据能够根据作战任务计划实时加载和动态更新。

3. 即插即用武器集成的应用

在未来的通用开放式体系结构作战系统中,作战任务的制定、下达和实施是围绕网络为中心展开的,作战任务“面向服务”是其最典型的特征之一。在该体系结构中,指挥中心相当于服务代理商,把当前的空中力量(飞机和武器)作为服务进行统计和综合,用户(如地面部队)得到可用的服务资源列表,选择需要的服务内容向服务代理商进行订购,同时通过作战系统信息网络为作战飞机提供打击目标的相关数据。这些数据和信息被动态装定到作战飞机所携带的即插即用武器中。请求获准后,用户把作战要求以任务的形式传送给飞机平台,飞机重新生成相关模型和任务执行计划,最后按照计划执行作战任务,完成对用户的服务。

开放式体系结构作战系统示意图如图 1-1 所示。

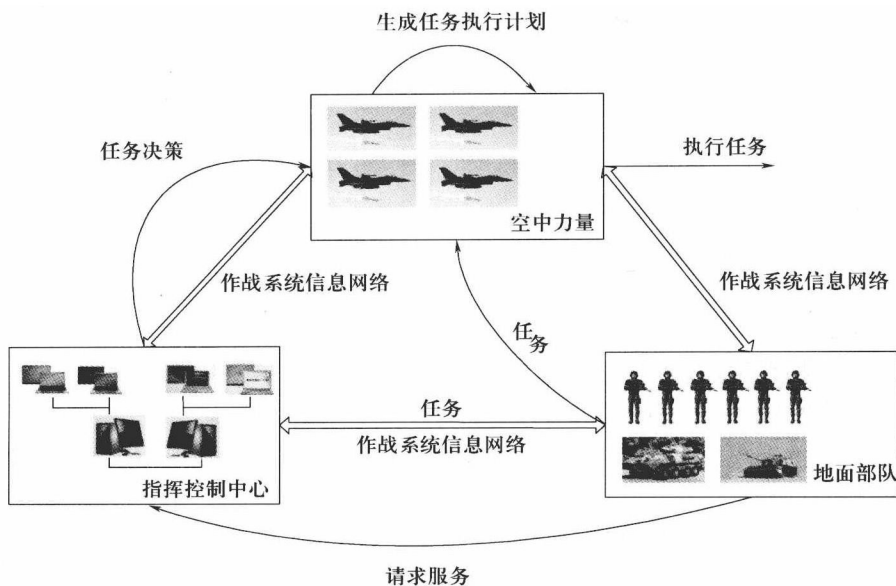


图 1-1 开放式体系结构作战系统示意图

即插即用武器集成的主要开发对象包括通用武器接口 (Universal Armament Interface, UAI), 飞机、发射装置和武器互用性 (Aircraft, Launcher and Weapon Interoperability, ALWI), 以及以武器数据链网络 (Weapon Data Link Network, WDLN) 为基础的网络增强武器 (Network Enabled Weapons, NEW) 等。

JDAM 是美国军方即插即用武器集成应用最为成熟和广泛的武器型号, 目前已经在空军和海军的十余种型号的飞机上得到应用 (F/A-18C/D、F/A-18E/F、F-16、F-15E、F-14、F-22A、B-1、B-2、B-52、AV-8B), 并已经完成全部 JDAM 武器综合更新, A-10 和 F-35 飞机也已纳入更新计划中, 如图 1-2 所示。2007 年美军完成了在 JDAM 基础上小型化的微型弹药的即插即用实用性试验。

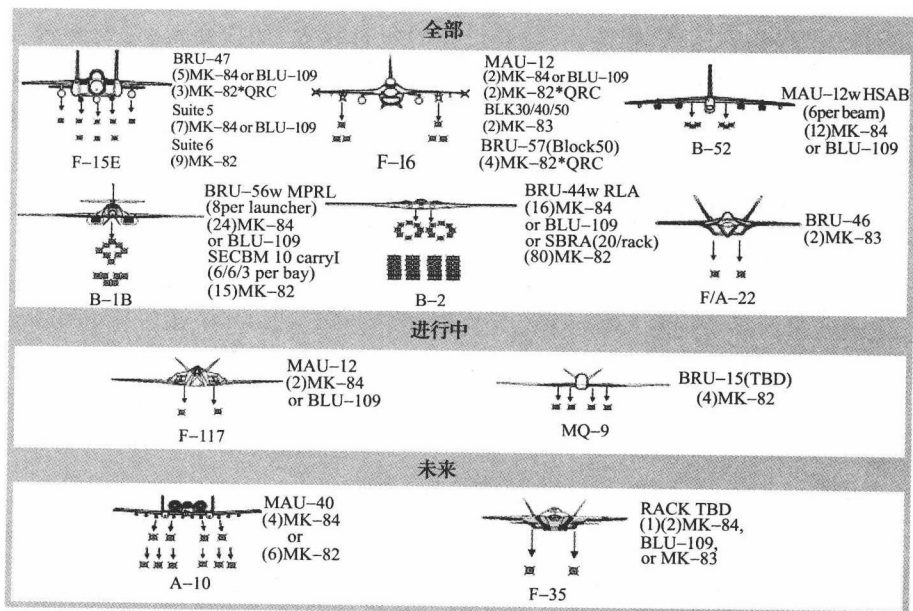


图 1-2 JDAM 即插即用武器集成的应用

1.2 名词术语及解释

1. 悬挂物

悬挂物是指预定运载和安装在飞机内部或外部悬挂和投放装置上的任何装置, 它分为如下三类。