

# “低慢小” 航空器协同防控 技术概论

辛振芳 白鹏英 邱旭阳 苏成谦 等 编著

INTRODUCTION TO LOW-SLOW-SMALL  
AIRCRAFT COLLABORATIVE  
PREVENTION AND CONTROL

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# “低慢小” 航空器协同防控 技术概论

---

辛振芳 白鹏英 邱旭阳 苏成谦  
申 研 韩书永 贾彦翔 张秦岭 编著  
杨静伟 何春涛 卞伟伟 黄魁华

INTRODUCTION TO LOW-SLOW-SMALL  
AIRCRAFT COLLABORATIVE  
PREVENTION AND CONTROL

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

---

图书在版编目 (C I P) 数据

“低慢小”航空器协同防控技术概论 / 辛振芳等编  
著. --北京: 北京理工大学出版社, 2021.5  
ISBN 978-7-5682-9884-1

I. ①低… II. ①辛… III. ①航空器-空防-研究  
IV. ①E926.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 108796 号

---

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司  
社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号  
邮 编 / 100081  
电 话 / (010) 68914775 (总编室)  
(010) 82562903 (教材售后服务热线)  
(010) 68944723 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>  
经 销 / 全国各地新华书店  
印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司  
开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16  
印 张 / 17.25  
彩 插 / 6

字 数 / 330 千字  
版 次 / 2021 年 5 月第 1 版 2021 年 5 月第 1 次印刷  
定 价 / 86.00 元

责任编辑 / 孙 澍  
文案编辑 / 国 珊  
责任校对 / 周瑞红  
责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

## 编写委员会

主任委员 邱旭阳

副主任委员 辛振芳 卞伟伟 王 飞 侯 师

李利军 吕 鑫 李 斌 王 楚

委 员 吕 鑫 张秦岭 王 飞 卞伟伟

董建超 王 涛 薛立娟 侯 师

李 斌 康 乐 王 景 王 楚

侯 奕 王 军 王超尘 朱 岩

张海洋 李 靖 朱敏敏 黄魁华

苑文楠 王淑志 祁斌飞

“低慢小”航空器成本低廉、操控简单、携带方便、易于获取，具有起飞要求低、升空突然性强、发现处置困难等特点。随着低空空域管制的逐步开放和“低慢小”航空器技术的飞速发展，“低慢小”航空器违规飞行和用于恐怖袭击事件的案例日益增多，关于“低慢小”航空器非法测绘、抵近侦察、扰乱正常航空秩序的报道频频见诸报端，造成了较大的负面影响和经济损失，严重影响社会安全和政治经济的正常发展。

为了提高对“低慢小”航空器的防控能力，各国都十分重视“低慢小”防控装备的发展，经过近几年的发展，各防控手段在信息化、精确化、模块化、自主化等方面都达到了较高的水平。为打破各单一预警探测和处置拦截的技术壁垒，“低慢小”航空器协同防控平台基于体系研究将指控系统、探测装备和拦截装备进行科学的集成，集综合压制、精确打击、实时侦察和效能评估于一体，为复杂环境下“低慢小”航空器的防控提供了重要保证。

“低慢小”航空器防控装备技术的发展已经进入一个新的更高阶段，仰之弥高，钻之弥坚，需要有完整的集成设计技术支撑，需要有新的技术和新的装备不断的突破与创新。未来防控装备整体作战效能不仅依赖于各型骨干装备的战术技术性能，更取决于统一体系框架下各型装备准确的功能定位、合理的信息交互、优化的作战过程、标准的接口设计、统一的时空基准和准确的目标识别。目前，相比单项装备研制和专项技术发展进度，技术体系明显滞后，不同理念、体制下研发的技术和装备能否确保体系能力的形成令人担忧。因此，需要深化“低慢小”航空器目标协同防控平台总体技术的研究和实践工作，对各项技术进行整合、提升和重组，集中优势力量，以形成协同防控能力为目标，

## ■ “低慢小”航空器协同防控技术概论

改变研制力量分散、系统性解决方案不足的局面，以满足协同防控平台顶层技术架构搭建和匹配协调、高效运行需求。

北京机械设备研究所是我国“低慢小”航空器防控总体技术与应用方面科学研究和知识传承的一个重要单位，所研制的“低慢小”航空器防控装备，积极参与了各大重要赛事和活动的安防任务，其防控装备体系和技术经验在实践中均得到了有效检验。

本书从体系结构入手，较为全面地阐述了“低慢小”航空器防控平台实装系统的装备与技术现状以及协同防控技术。基于已经开展的装备与技术研究，着重对“低慢小”航空器防控平台的基础研究和工程化研究的创新性成果进行了提炼。该书对培养一批更专业、更全面、高层次的专业人才，推进专业技术人才储备和提升，推动防控技术的不断自主创新，促进“低慢小”防控装备发展具有一定意义。

相信在各级机关的支持下，在广大科研人员的共同努力下，“低慢小”航空器防控技术和装备将更加适应新生目标的打击需求，在未来无人化、智能化和信息化的“低慢小”航空器或其他无人目标防控任务中发挥更重要的作用。

邱旭阳

2021年2月23日

# 前言

“低慢小”航空器协同防控平台是实现“低慢小”航空器装备协同防控的集成平台。为迎合未来防控需求，适应防控装备快速发展以及无人防控装备体系的建设，本书结合工程实践以及“低慢小”航空器防控领域相关装备与技术的发展，对“低慢小”航空器协同防控平台进行总结。作者围绕体系结构设计、协同防控平台实际装备和技术、协同防控技术三个维度的研究成果进行总结形成了此书，同时收集了国内外“低慢小”航空器防控相关技术和装备材料，尽可能覆盖已有的装备形态和成熟的应用技术，以期为读者提供系统性的协同防控装备和技术信息，以指导具体的工程设计和科学研究。

为此，作者怀着这个目标和愿望，在工程实践过程中，采各家之长，系统归纳总结了工程实践过程中的关键点，融入科学研究中的体会，按照自己的研究思路，综合撰写本书。

本书由以下 8 章组成。

第 1 章，绪论，阐述了“低慢小”航空器协同防控的基本概念，包括“低慢小”航空器、“低慢小”航空器协同防控平台体系结构、“低慢小”航空器协同防控平台，并介绍了本书编写的总体思路。

第 2 章，“低慢小”航空器概况，对“低慢小”航空器的定义、分类、特点、潜在威胁、危害性、防控难点进行了系统性说明。

第 3 章，“低慢小”航空器协同防控平台体系结构，重点阐述了协同防控平台体系结构设计的总体思路和设计方案。设计方案包括体系结构的需求与能力分析、协同防控平台体系结构设计、基于体系结构底层数据的可执行模型构建和体系结构建模与效能评估模型设计，并据此介绍了部分“低慢小”

航空器协同防控平台体系结构设计应用。

第4章，“低慢小”航空器协同防控平台，包括平台的装备现状和技术现状，并对已有的“低慢小”航空器协同防控平台进行了介绍。

第5章，“低慢小”航空器协同防控平台预警探测装备，首先对“低慢小”航空器的目标特性进行了描述，并系统性地介绍了雷达装备、光电装备和声学装备以及相关技术的现状，并结合平台相关装备做了说明。

第6章，“低慢小”航空器协同防控平台处置拦截装备，介绍了激光拦截装备、网式拦截装备和电子干扰装备以及相关技术的现状，并结合平台相关装备做了说明。

第7章，“低慢小”航空器协同防控平台指挥控制系统，针对指挥控制技术现状，对“低慢小”航空器协同防控平台指挥控制系统进行介绍，并对流程中的重要问题做了详细说明，具体包括装备部署问题、协同探测问题、综合识别问题、威胁评估问题、复合拦截问题以及效能评估问题。

第8章，“低慢小”航空器协同防控平台通信网络，概括性地介绍了现代通信技术和现代通信网络，并对光纤通信子系统和无线数据传输子系统的工作原理进行了阐述，最后对防控平台的网络架构进行了说明。

本书在编写过程中，参考了许多国内外文献资料，在此对这些文献作者深表谢意。

本书由邱旭阳负责审稿，提出了许多宝贵意见，给予作者很大帮助，在此深表谢意。

由于水平有限，书中如有不妥之处请多提宝贵意见。在此对提供过各种帮助的同人士表示感谢。

编著者

2021年2月23日

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	001
1.1 意义 .....	002
1.2 基本概念 .....	003
1.2.1 “低慢小” 航空器 .....	003
1.2.2 “低慢小” 航空器协同防控平台体系结构 .....	004
1.2.3 “低慢小” 航空器协同防控平台 .....	004
1.3 本书编写的总体思路 .....	006
1.3.1 防控平台体系结构 .....	006
1.3.2 防控平台实际装备 .....	007
第 2 章 “低慢小” 航空器概况 .....	009
2.1 “低慢小” 航空器的定义 .....	010
2.2 “低慢小” 航空器的分类 .....	011
2.2.1 轻型飞机类 .....	011
2.2.2 滑翔机类 .....	014
2.2.3 气球风筝类 .....	018
2.2.4 无人机类 .....	021
2.2.5 航空模型类 .....	022
2.3 “低慢小” 航空器的特点 .....	024
2.4 “低慢小” 航空器的潜在威胁 .....	024
2.5 “低慢小” 航空器的危害性 .....	026

## ■ “低慢小”航空器协同防控技术概论

2.6	“低慢小”航空器的防控难点	028
2.6.1	“低慢小”航空器的飞行管控难点	028
2.6.2	“低慢小”航空器的探测跟踪难点	028
2.6.3	“低慢小”航空器的处置难点	031
第3章	“低慢小”航空器协同防控平台体系结构	033
3.1	引言	034
3.1.1	必要性与意义	034
3.1.2	基本思路	035
3.2	研究现状	036
3.3	体系结构设计技术途径	039
3.3.1	体系结构的需求与能力分析	039
3.3.2	协同防控平台体系结构设计	042
3.3.3	基于体系结构底层数据的可执行模型构建	048
3.3.4	体系结构建模与效能评估模型设计	050
3.4	“低慢小”航空器协同防控平台体系结构设计应用	054
3.4.1	“低慢小”航空器协同防控平台体系结构框架	054
3.4.2	“低慢小”航空器协同防控平台体系结构核心要素关系分析	056
3.4.3	“低慢小”航空器协同防控平台体系结构作战视图设计	057
3.4.4	“低慢小”航空器协同防控平台体系结构系统视图设计	064
3.4.5	小结	067
第4章	“低慢小”航空器协同防控平台	069
4.1	“低慢小”航空器协同防控平台装备现状	070
4.1.1	“低慢小”航空器协同防控平台分类	070
4.1.2	“低慢小”航空器协同防控平台现状	071
4.2	“低慢小”航空器协同防控平台技术现状	075
4.2.1	突出处置手段的技术架构	076
4.2.2	基于协同防控的技术架构	077
4.3	“低慢小”航空器协同防控平台	079
4.3.1	协同防控平台研制思路	080
4.3.2	协同防控平台架构与组成	081
4.3.3	协同防控平台工作流程	082

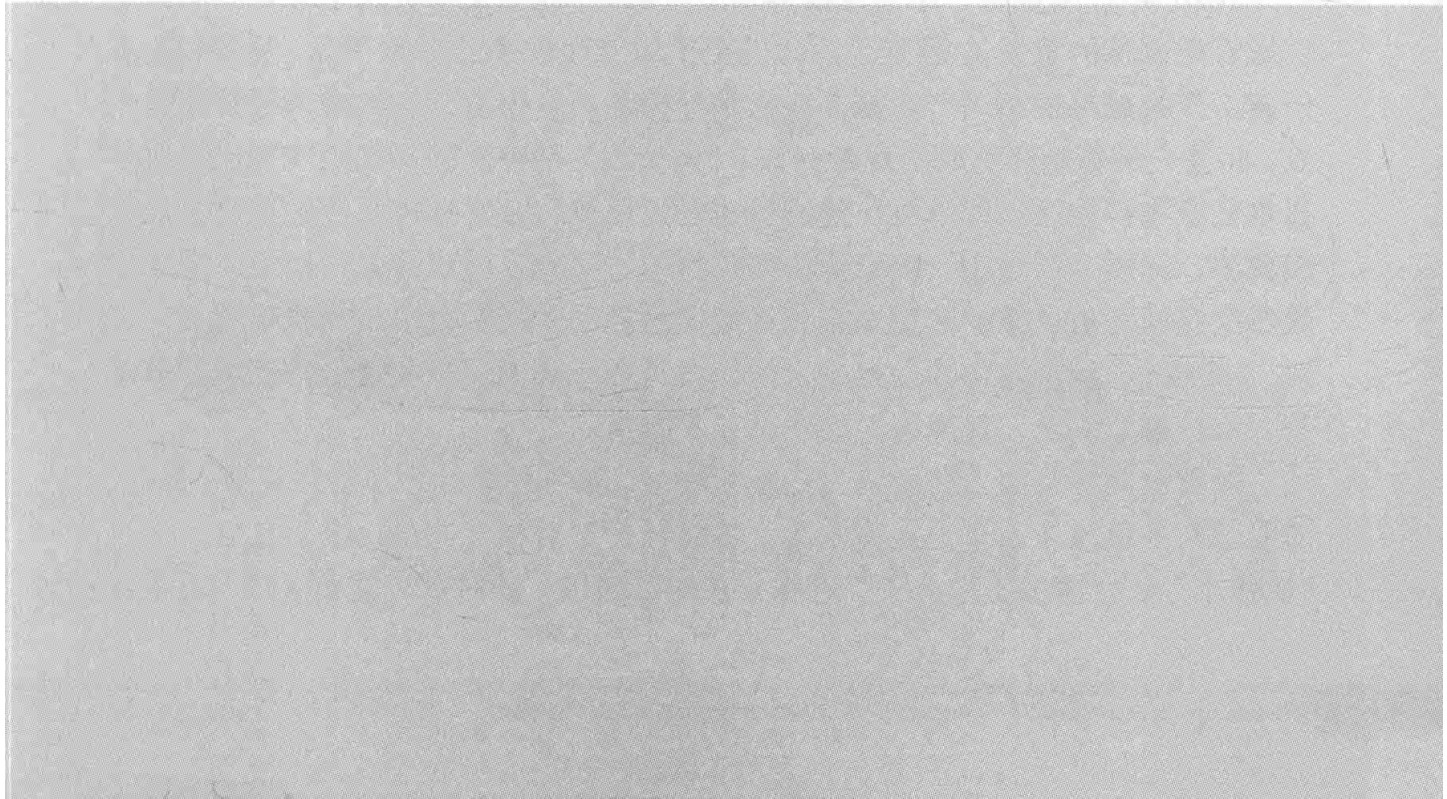
第 5 章 “低慢小” 航空器协同防控平台预警探测装备 .....	085
5.1 引言 .....	086
5.2 “低慢小” 航空器目标特性 .....	087
5.2.1 “低慢小” 航空器目标噪声特性 .....	087
5.2.2 光学特性 .....	091
5.2.3 电磁特性 .....	094
5.3 雷达装备 .....	096
5.3.1 雷达装备参数选择 .....	096
5.3.2 雷达装备现状 .....	099
5.3.3 雷达装备关键技术 .....	103
5.3.4 典型雷达装备介绍 .....	106
5.4 光电装备 .....	109
5.4.1 光电装备现状 .....	110
5.4.2 光电装备相关技术 .....	112
5.4.3 典型光电装备介绍 .....	115
5.5 声学装备 .....	120
5.5.1 功能 .....	120
5.5.2 组成与工作原理 .....	121
5.5.3 声学探测相关技术 .....	123
5.6 其他探测装备 .....	126
第 6 章 “低慢小” 航空器协同防控平台处置拦截装备 .....	127
6.1 引言 .....	128
6.2 激光拦截装备 .....	129
6.2.1 激光拦截装备现状 .....	129
6.2.2 典型激光装备介绍 .....	133
6.3 网式拦截装备 .....	135
6.3.1 网式拦截装备现状 .....	136
6.3.2 柔性网装备技术要点 .....	138
6.3.3 车载平台柔性网拦截装备介绍 .....	140
6.3.4 制导无人机网式拦截装备介绍 .....	141
6.4 电子干扰拦截装备 .....	146
6.4.1 电子干扰工程应用方法 .....	147

6.4.2	无线电干扰装备现状	149
6.4.3	电子干扰技术现状	153
6.4.4	典型电子干扰装备介绍	155
6.5	其他拦截装备	158
第7章	“低慢小”航空器协同防控平台指挥控制系统	161
7.1	引言	162
7.2	指挥控制技术现状	163
7.2.1	国内外指挥控制技术背景	163
7.2.2	“低慢小”航空器协同防控平台指挥控制技术	164
7.3	“低慢小”航空器协同防控平台指挥控制系统介绍	171
7.3.1	协同防控指挥控制系统的功能	171
7.3.2	协同防控指挥控制系统的组成	171
7.3.3	技术指标	176
7.3.4	指挥控制系统架构	178
7.3.5	指挥控制系统接口	179
7.3.6	指挥流程与授权模式	183
7.4	协同防控指挥控制流程中的若干问题分析	183
7.4.1	装备部署问题	185
7.4.2	协同探测问题	192
7.4.3	综合识别问题	199
7.4.4	威胁评估问题	211
7.4.5	复合拦截问题	223
7.4.6	效能评估问题	230
第8章	“低慢小”航空器协同防控平台通信网络	245
8.1	现代通信技术	246
8.1.1	有线通信	247
8.1.2	无线通信	248
8.2	现代通信网络	249
8.2.1	通信网络组成与基本拓扑结构	249
8.2.2	主要通信协议	250
8.3	“低慢小”航空器协同防控平台通信网络	251
8.3.1	功能	251

8.3.2 网络架构与拓扑 .....	252
8.3.3 组网方案 .....	253
参考文献 .....	256

第1章

绪 论



## | 1.1 意 义 |

立足于反恐安防的迫切需求，着眼于“低慢小”航空器协同防控技术的长远发展，“低慢小”航空器协同防控平台对于保障国民经济正常发展、提升国家反恐维稳能力、构建“低慢小”航空器协同防控体系、开展未来防控装备研发部署、加速领军人才培养、形成军工核心能力具有重要意义。

2010年，国务院、中央军委发布了《国务院 中央军委关于深化我国低空空域管理改革的意见》，确定了深化低空空域管理改革的总体目标、阶段和主要任务，作为战略性新兴产业重要组成部分的通用航空业，有望成为经济新增长点。但是，随着低空空域的逐渐开放，“低慢小”航空器的不规范飞行已给维护日常低空飞行秩序和保障城市建设带来巨大挑战，并对国民经济的正常发展构成威胁。开展“低慢小”航空器协同防控技术研究，辅以政策和法规，对于促进低空空域开放、维护航空安全、保障国民经济的正常发展具有重要意义。故此，“低慢小”航空器协同防控平台的研发有利于我国逐步实施低空空域开放政策，维护航空安全，保障国民经济的正常发展。

随着我国综合国力和影响力的不断提升，国内外局势愈加错综复杂；另外，随着国家各项改革逐步进入深水区，各类社会矛盾相互交错，极为复杂。一旦“低慢小”航空器被不法分子、恐怖分子加以利用，针对重大活动区域、重要核

心场所进行破坏活动，后果不堪设想。开展“低慢小”航空器协同防控技术研究，对于提高“低慢小”航空器防控技术水平、维护城市低空安全、快速提升国家反恐维稳能力具有重要意义。同样，“低慢小”航空器协同防控平台的研发有利于提高“低慢小”航空器防控技术水平、维护城市低空安全、提升国家反恐维稳能力。

“低慢小”航空器的整体防控效能不仅依赖于各型防控装备的战术技术性能，更取决于“低慢小”航空器协同防控体系框架下各型装备合理的功能定位、迅捷的信息交互、优化的防控流程、标准的接口设计、统一的时空基准、精确的目标识别和高效的支援保障。目前，相对于防控装备的研制进度，协同防控体系建设明显滞后。因此，开展“低慢小”航空器协同防控平台研发以及相关协同防控关键技术研究，在整合和继承现有成果的基础上，突破总体架构、指挥控制、预警探测、处置拦截等领域的瓶颈问题，对于形成和完善“低慢小”航空器协同防控体系，加快未来“低慢小”航空器协同防控装备的研发部署具有重要意义。

“十二五”期间，国内相关科研单位在“低慢小”航空器防控领域做了大量卓有成效的工作。但是，由于顶层技术人才相对匮乏、各科研单位之间没有统一规划、对“低慢小”航空器协同防控的认识和理解不足，多数技术方案不够系统和深入，形成的装备存在不同程度的缺点和局限，无法有效解决城市复杂环境下“低慢小”航空器协同防控问题。通过实施“低慢小”航空器协同防控平台及关键技术研究，从顶层设计入手，系统开展技术研究，可以培养一批更专业、更全面、高层次的专业人才。对于实施人才战略、推进专业技术人才储备和提升相关单位军工核心能力具有重要的战略意义。

## | 1.2 基本概念 |

### 1.2.1 “低慢小”航空器

“低慢小”航空器是指高度低（1 000 m 以下）、飞行速度慢（小于时速 200 km/h）、雷达反射面积小（小于 2 m<sup>2</sup>）的航空器具，主要包括轻型和超轻型飞机（含轻型和超轻型直升机）、滑翔机、三角翼、动力三角翼、滑翔伞、动力滑翔伞、无人机、航空模型、飞艇、载人气球（热气球）、无人驾驶自由气球、

## ■ “低慢小”航空器协同防控技术概论

系留气球等 12 类。

### 1.2.2 “低慢小”航空器协同防控平台体系结构

“低慢小”航空器协同防控平台体系结构就是“低慢小”航空器协同防控平台组成单元的结构及其关系，以及指导系统设计和演进的原则和指南。

### 1.2.3 “低慢小”航空器协同防控平台

“低慢小”航空器协同防控平台由指控系统、探测装备、拦截装备、基础通信网络和辅助资源组成，主要是用来对“低慢小”航空器进行探测、识别、跟踪和处置，使其对防控平台所防护的区域不形成特定程度的危害。

立足现有“低慢小”航空器防控技术和装备，防控平台主要由预警探测装备、指挥控制系统、处置拦截装备和基础通信网络组成，防控平台各要素以处置拦截为核心在作战过程中紧密交联、有机结合，共同形成体系作战能力。由“低慢小”航空器特点、城市环境下的防控复杂性可知，需要进一步发展联合防控的技术体系，在未来“低慢小”航空器防控平台的试验、训练和作战中，还可以将市政监控系统的信息、安保人员主动监控信息作为预警探测系统的有力补充。“低慢小”航空器防控平台组成要素如图 1.1 所示。

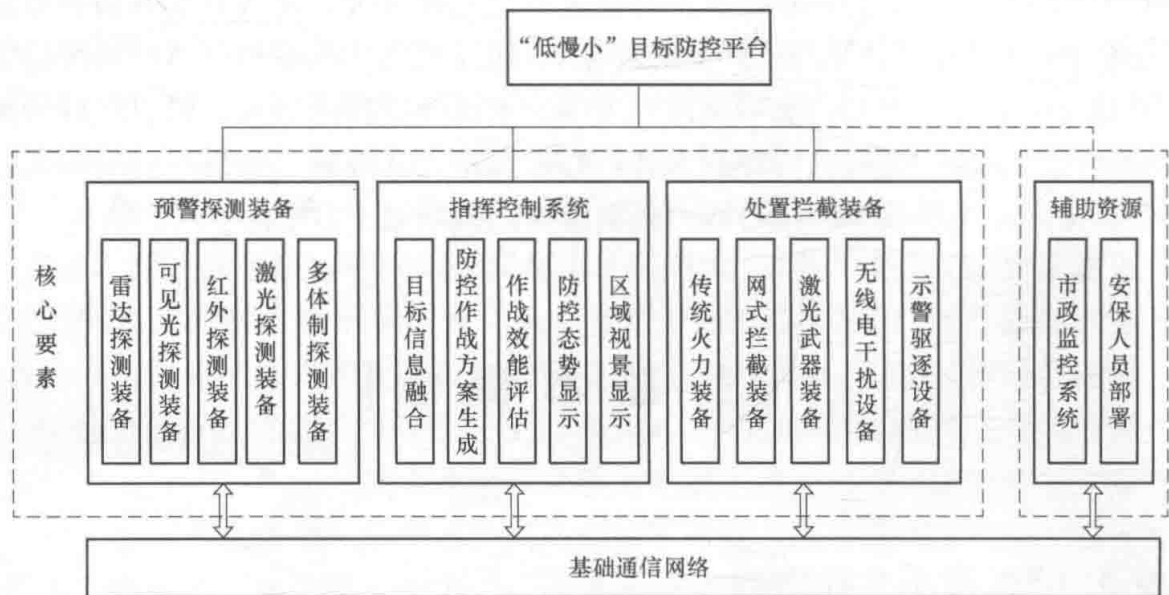


图 1.1 “低慢小”航空器防控平台组成要素

预警探测装备功能定位：作为“低慢小”航空器防控平台作战的来袭目标信息支持系统，在指控系统的统一组织下，各型预警探测装备实施预警探测。平时，按计划担负日常预警监视任务，开展预警探测训练，参与平台训练和作