

项目合同编号：25-53K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

项目名称：复杂态势下机场空地协同管控方法及应用

承担单位：西安电子科技大学

项目负责人：蔡清

通讯邮编、地址：陕西省西安市太白南路 2 号 710071

传真、电话：15002940026

起止年限：2026 年 3 月至 2028 年 3 月

陕西省交通运输厅制

项目合同编号：25-53K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：复杂态势下机场空地协同管控方法及应用

承担单位：西安电子科技大学

项目负责人：蔡清

通讯邮编、地址：陕西省西安市太白南路 2 号 710071

传真、电话：15002940026

起止年限：2026 年 3 月至 2028 年 3 月

陕西省交通运输厅制

一、项目主要研究内容

1. 主要研究内容

1) 基于多元数据融合的近场空域复杂气象下飞行目标识别与跟踪方法

该研究旨在利用深度学习技术解决机场近场空域中飞行目标识别与跟踪的复杂问题。在机场运行环境中，飞行目标包括各种飞机和无人机，这些目标的识别与跟踪对于保障飞行安全至关重要。研究重点在于构建和优化卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）模型，通过大规模飞行数据训练，实现对不同类型飞行目标的准确识别和动态跟踪。该方法不仅需要处理多种天气条件和光照变化，还需应对目标密集和遮挡等复杂情境。最终，通过实验验证该方法的高效性和鲁棒性，为机场空域管理提供技术支撑。

2) 基于视频时序数据驱动的机场容量预测

自动相关监视广播（ADS-B）技术提供了飞机位置、速度和高度等信息，为近场飞机测距提供了数据基础。此外，机场还有监控雷达数据，该数据可以实时的对飞机的距离进行测量。然而，ADS-B 和雷达数据含有大量的噪声，且两者的数据量非常庞大，反观机场的监控数据，其获取渠道廉价且数据量小。本项目拟以 ADS-B 以及雷达数据为基准，充分利用历史轨迹数据和视频监控数据，训练一个神经网络用于计算飞机离跑道的距离，为机场的地面和空中交通管制提供重要的决策支持。

3) 机场空地一体协同管控平台

在复杂态势下，机场空地一体协同智能管控软件原型的开发是该研究的最终目标。软件原型基于前述研究成果，集成飞行目标识别与跟踪、飞机测距、机车识别、跑道容量预测和协同控制等功能。采用模块化设计，具备良好的扩展性和兼容性。通过实时数据采集与处理、智能算法应用和人机界面设计，构建一个完整的智能管控平台。该软件原型将在真实场景中进行测试和优化，为机场提供全面、智能的管控解决方案。

2. 技术关键

本项目研究涉及以下四个关键技术：

1) 深度学习与计算机视觉技术

该技术用于解决机场地面目标（如飞机、无人机、地面车辆）的检测与识别问题。利用卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）等深度学习模型，通过大规模数据训练，实现对目标的高精度识别和动态跟踪，处理复杂的环境因素如遮挡、噪声和光照变化。

2) 多源数据融合技术

该技术用于融合来自多个数据源的信息，如视频监控数据、雷达数据、ADS-B 数据和 GPS 数据等。通过卡尔曼滤波和贝叶斯推理等算法，实时处理和融合多源数据，提高目标识别、定位和跟踪的准确性和可靠性，特别是在数据缺失和噪声干扰的情况下。

3) 机器学习与统计分析技术

该技术用于预测跑道容量和处理复杂的机场运行数据。利用回归分析、时间序列分析和混合模型，结合统计方法和机器学习模型，分析影响跑道容量的关键因素，实现高精度的跑道容量预测，为机场调度和资源管理提供数据支持。

4) 优化算法与协同控制技术

该技术用于机场空地一体化协同控制的优化和决策。利用多目标优化算法（如遗传算法、蚁群算法）和强化学习等方法，分析和优化地空交通参与者之间的协同机制，实现实时优化调度和资源分配，提高机场运行效率，减少延误和拥堵，保障飞行安全。

这四个关键技术是实现复杂态势下机场空地一体智能管控的核心支柱，它们相互配合，共同解决不同环节中的技术难题。

3. 依托工程（依托工作）

本项目依托西安咸阳国际机场及西北空管局的运行保障工作开展，西安咸阳国际机场作为区域枢纽机场，年旅客吞吐量规模大，飞行区涵盖多平行跑道及复杂近场空域（半径 ≤ 10 公里），涉及跑道滑跑、近空飞行、五边进离场等多类运行场景，其工程技术特点体现为空中交通流量密集、空地协同需求迫切，且受复杂气象（雨、雾、沙尘）、低空经济活动（无人机物流、低空旅游）等多因素干扰，对近场空域目标识别、飞机测距、跑道容量预测及空地协同管控的技术要求高。

二、考核指标

1. 预期目标

本项目以人工智能技术为核心，赋能机场空地一体智能管控，核心考核目标如下：

- 1) 构建一个信息共享、智能决策、协同高效的机场空地协同管控平台；
- 2) 提升效率：通过优化航班全程管理（从起飞、着陆到地面滑行），有效减少航班延误，提升航班正点率和机场资源利用率；
- 3) 保障安全：增强对跑道、滑行道等关键区域的冲突预警和管控能力，提高运行安全裕度；
- 4) 加强协同：打破信息壁垒，建立机场、空管、航司等多方统一的协同指挥与决策机制；
- 5) 智能应急：提升在面对恶劣天气、设备故障等特殊情况下的快速响应和协同处置能力；人才与交流目标：培养交通运输领域专业人才，提升研究生解决实际工程问题的能力，开展媒体宣传报道 3 次、技术交流 1 次。

2. 主要技术经济指标

本项目目前主要展开理论和技术层面的研究，拟通过本项目的实施促进与咸阳机场以及西北空管局的密切合作，最终以提升咸阳机场塔台智能水平为目的，因此本项目目前不涉及技术经济指标。

3. 经济和社会效益

本项目目前主要展开理论和技术层面的研究，拟通过本项目的实施培养交通运输领域的专业人才，提升研究生解决实际工程问题的能力，促进研究生就业情况。

4. 成果提供形式

本项目的顺利实施预期取得下表所示的研究成果。

项目预期研究成果

序号	类型	内容	数量
1.	模型	基于深度学习的机场场面飞机目标识别模型	1
2.	论文	基于深度学习的跑道占用时间预测方法	1

3.	模型	基于深度学习的到机场容量预测模型	2
4.	软件	机场空地一体协同管控软件原型	1
5.	报告	复杂态势下机场空地协同管控理论与方法技术报告	1

5. 其他考核指标

开展媒体宣传报道 3 次，技术交流 1 次。

三、项目年度计划内容及考核目标

年度	计划内容及考核目标（每栏限 125 字）
2026 年度 第二季度	与西北空管局进行对接，商讨本项目研发需要的数据需求，制定数据获取方案，并且与咸阳机场等单位进行协调，确立数据需求和采集方案。结合制定的数据采集需求和方案，协同西北空管局和咸阳机场等相关部门完成数据采集工作。
2026 年度 第三季度	针对本项目的研发内容，对收集到的数据进行分类管理，并且对收集到的数据进行相关预处理并搭建相应开发框架做好开发准备，方便后续开发。
2026 年度 第四季度	针对机场场面飞机目标识别任务，设计合适的深度学习模型，结合整理的多源数据，并设计相关算法实现。完成基于深度学习的机场场面飞机目标识别算法。
2027 年度 第一季度	针对机场容量预测任务，设计合适的深度学习模型，结合整理的多源数据，并设计相关算法实现。完成基于深度学习的机场容量预测算法。

2027 年度 第二季度	针对机场容量预测任务，设计合适的深度学习模型，结合整理的多源数据，对设计的模型进行训练，基于性能指标完成算法的调优
2027 年度 第三季度	基于前面的研究产出，设计空地协同管控模型，开发求解所设计的模型的管控算法，为机场空域交通的容流平衡提供决策支持。
2027 年度 第四季度	汇总项目相关的研究，撰写科技论文或发明专利等。
2028 年度 第一季度	汇总项目相关的研究，撰写科技论文或发明专利等。汇总项目相关的研究，撰写项目技术文档和结题报告。

四、项目经费

项目总经费：39.5 万元

交通运输厅补助：19.75 万元

自筹资金：19.75 万元

经费支出预算表

科 目	总经费 (单位：万元)	厅补经费 (单位：万元)
(一) 直接费用	39.5	19.75
1. 设备费	0	0
(1) 购置设备费	0	0
(2) 试制设备费	0	0
(3) 设备改造与租赁费	0	0
2. 业务费	12	6
(4) 材料支出	0.4	0.4
(5) 测试化验实验加工支出	0	0
(6) 燃料及动力支出	0	0
(7) 差旅支出	10.8	4.8
(8) 会议支出	0	0
(9) 国际合作与交流支出	0	0
(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/ 印刷支出	0.8	0.8
(11) 其他支出	0	0
3. 劳务费	23.55	11.775
(12) 劳务性支出	21.55	9.775
(13) 咨询专家支出	2	2
(二) 间接费用	3.95	1.975
4. 管理费	3.95	1.975
5. 绩效支出	0	0
合 计	39.5	19.75

注：预算编制按照《陕西省人民政府办公厅关于改革完善省级财政科研经费管理的实施意见》（陕政办发[2022]3号）文件执行。项目验收将组织财务专项验收或审计。

项目绩效目标

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	知识产权	1、专利授权数（项）	0
		（1）授权发明专利	0
		（2）实用新型	0
		（3）外观设计	0
		2、软件著作权授权数（项）	0
		3、发表论文（篇）	1
		（1）其中 SCI 索引收录数	1
		（2）其中 EI 索引收录数	0
		（3）其它	0
		4、著作（部）	0
		5、制订标准数（项）	1
		（1）国际标准	0
		（2）国家标准	0
		（3）行业标准	0
		（4）地方标准	0
		（5）企业标准	0
		（6）科技报告	1
	其他成果	1、填补技术空白数	0
		（1）国际	0
		（2）国家	0
		（3）省级	0
		2、获奖项数	0
		（1）国家奖项	0
		（2）部、省奖项	0
		（3）地市级奖项	0
		3、其他科技成果产出	0
		（1）新工艺（或新方法模式）	0
		（2）新产品（含农业新品种）	0
		（3）新材料	0
		（4）新装备（装置）	0
		（5）平台/基地/示范点	0
		（6）中试线	0
		（7）生产线	0

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4、研究开发情况	
		(1) 小试	否
		(2) 中试（样品样机）	否
		(3) 小批量	否
		(4) 规模化生产	否
	人才引育	1、引进高层次人才	0
		(1) 博士、博士后	0
		(2) 硕士	0
		2、培养高层次人才	5
		(1) 博士、博士后	0
		(2) 硕士	5
		3、培训从事技术创新服务人员（人次）	0
		4、是否设立科研助理岗位	否
	产业化情况	1、开放共享仪器设备数（台/套/只等）	0
		2、科研仪器设备利用率（%）	0
		3、孵化科技型企业（个）	0
		4、转化科技成果（个）	0
效果类指标	经济效益	1、新增产值（万元）	0
		2、新增销售（万元）	0
		3、新增出口创汇（万美元）	0
		4、新增利润（万元）	0
	社会效益	1、新增税收（万元）	0
		2、新增就业人数	0
		3、就业培训（人次）	0
		4、带动农民增收（万元）	0
		5、培训和指导科技服务（人次）	0
		6、新增产业带动情况	0
		7、技术集成示范（项）	0
		8、建立示范基地（亩数）	0
		9、节约资源能源	0
		10、环保效益	0
其他需要说明的情况			

五、承担单位或研究人员分工

西安电子科技大学：负责项目总体技术路线设计、深度学习核心模型研发、学术论文撰写。

中国民用航空西北地区空中交通管理局：负责提供机场运行实测数据、明确业务需求场景、协助算法在真实环境下的验证与测试。

成都民航空管科技发展有限公司：负责协同管控软件原型的工程化开发、系统集成、软著申报及后期技术推广。

六、项目参加人员表

项目承担单位：						
参与单位（排序）：西安电子科技大学、中国民用航空西北地区空中交通管理局、成都民航空管科技发展有限公司						
项目负责人						
序号	姓名	出生年月	工作单位	职称/职务	专业	在项目中担任具体工作
1	蔡清	1987.6	西安电子科技大学	副高级	控制科学与工程	项目技术路线研究；项目管理与协调
主要研究人员						
2	张满	1987.8	中国民用航空西北地区空中交通管理局	副高级	信息化	算法研究与开发；实验设计与实施；项目管理与协调
3	高原	1996.9	西安电子科技大学	副高级	控制科学与工程	项目技术路线研究；项目管理与协调
4	杨志	1979.9	成都民航空管科技发展有限公司	副高级	信息化	项目管理与协调；算法开发与应用

5	王智	1987.1 2	中国民用航空西北地区空中交通管理局	中级	信息化	项目管理与协调; 设计与实施	实验 王智
6	张浩楠	1990.4	中国民用航空西北地区空中交通管理局	副高级	信息化	项目管理与协调; 设计与实施	张浩楠
7	李立哲	1989.7	西北工业大学	中级	信息化	算法开发与应用	李立哲
8	钟聘	1987.9	中国民用航空西北地区空中交通管理局	副高级	信息化	项目管理与协调; 设计与实施	钟聘
9	申宽	1992.1 0	成都民航空管科技发展有限公司	中级	信息化	算法开发与应用	申宽
10	张旭东	1991.2	成都民航空管科技发展有限公司	中级	信息化	算法开发与应用	张旭东
11	肖明彦	1998.1 2	成都民航空管科技发展有限公司	中级	信息化	算法开发与应用	肖明彦
12	彭政超	1997.1 1	成都民航空管科技发展有限公司	中级	信息化	算法开发与应用	彭政超
13	胡祖鑫	2003.8	西安电子科技大学	其他	计算机技术	算法开发与应用	胡祖鑫
14	余允鉴	2004.4	西安电子科技大学	其他	计算机技术	算法开发与应用	余允鉴
15	刘鹏	2004.9	西安电子科技大学	其他	计算机技术	算法开发与应用	刘鹏

七、信息表

项目合同编号		25-53K		密级		/		A: 机密 B: 秘密 C: 内部				
项目名称		复杂态势下机场空地协同管控方法及应用										
项目实施所在地		西安		起止年限		2026 年 3 月至 2028 年 3 月						
总 经 费		39.5 万元		厅 拨		19.75 万元						
第一承担单位	单位名称	西安电子科技大学										
	所在地	陕西省西安市雁塔区						代码				
	通讯地址	陕西省西安市雁塔区太白南路 2 号						邮编	710071			
	单位性质	√1. 大专院校 2. 科研院所 3. 企业 4. 其它						代码				
参与单位	序号	单 位 名 称										
	1	西安电子科技大学										
	2	中国民用航空西北地区空中交通管理局										
	3	成都民航空管科技发展有限公司										
项目负责人		姓 名	蔡清		性别 (1) 1. 男 2. 女		出生年份		1987			
		学 历	(1) 1. 研究生 2. 大学 3. 大专 4. 中专 5. 其它									
		职 称	(1) 1. 高级 2. 中级 3. 初级 4. 其它									
		联系电话	18700992316 029-88202276		电子邮箱		Caiqing@xidian.edu.cn					
项目联系人		姓名	高原		性别		男					
		联系电话	15002940026 029-88202276		电子邮箱		gaoyuan@ieee.org					
项目组人数		15	高级	6	中级	6	初级	0	其它	4		
主要研究内容 (100 字以内)		该研究内容是将本项目制定的基于深度学习的近场空域飞行目标识别与跟踪、近场飞机测距、跑道容量等研究内容进行整合,构建空地一体协同管控模型,基于多源数据整合与多模态深度学习技术,研发协同管控理论与方法,以此提高机场的管控效率。										
成果属性		D	A: 新技术 B: 新工艺 C: 新材料 D: 新产品 E: 软科学 F: 装备 G: 其他									
成果形式		E	A: 专著、论文 B: 样机、样品 C: 试验工程、产品 D: 示范工程 E: 产品 F: 其他									

八、共同条款

合同各方应共同遵守《陕西省交通运输厅科研项目管理办法》。

1. 合同执行过程中，乙方如需修改合同某项条款，应向甲方提出变更内容及理由的申请报告，经甲方审核同意后实施。未经接到正式批准以前，双方仍须按原合同条款履行，否则后果由自行修改条款的一方负责。

2. 乙方因任何主观或客观原因（如：与可行性研究内容有出入，挪用经费、技术措施或某种条件不落实等）致使计划无法执行而要求解除合同的，需取得甲方书面同意且应视不同情况，部分或全部退还所拨经费；出现上述情况的，甲方有权单方解除本合同且视不同情况要求乙方部分或全部退还所拨经费。

3. 乙方的厅补助经费及自筹经费应按国省有关科研经费使用范围开支。

4. 项目执行过程中，甲方提出变更合同有关内容时，要与乙方协商达成书面协议。

5. 项目完成后，乙方必须按要求向甲方提交一套真实、完整、详细的技术资料及样机，并提出项目验收申请报告，由甲方审查后组织验收。

6. 合同正本一式 8 份，甲方单位伍份，承担单位 3 份。

7. 本合同经双方签章后生效，规定内容执行完毕后自然失效。

九、合同签约各方（注：本页内容不得跨页！）

合同甲方：

陕西省交通运输厅

负责人：（签字）

2026年3月27日

联系人：（签字）

（公章）

电 话：029-88869067

合同乙方：西安电子科技大学

单位负责人：（签字）

2026年3月27日

项目负责人：（签字）

（公章）

电 话：15002940026

财务负责人：（签字）

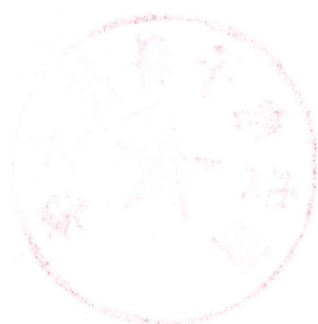
账 户 名：西安电子科技大学

开户银行：交通银行西安光华路支行

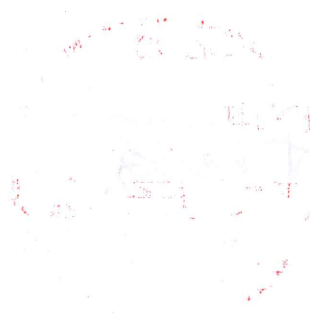
帐 号：611301135018000478803



Handwritten signature or initials in black ink.



Handwritten signature or initials in black ink.



陕西交通科技项目科研诚信 承诺书

本单位承诺在科研项目实施过程中，遵守科学道德和科研诚信要求，严格执行《陕西省交通运输厅科研项目管理办
法》的规定和科技项目合同书约定，保证所提交材料的真实性，确保专款专用。如违背以上承诺，愿意承担相关责任，并同意主管部门将相关失信信息记入公共信用信息系统。

项目承担单位：西安电子科技大学

项目负责人：蔡清

年 月 日



项目编号: 25-53K

2025年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称: 复杂态势下机场空地协同管控方法及
应用

申请单位: 西安电子科技大学 (盖章)

联系人: 蔡清

电 话: 15002940026

陕西省交通运输厅制

2026 年 1 月

目录

一、 项目研究的背景和必要性	1
二、 前期科研及工作基础	2
1. 项目领域研究现状、水平及发展趋势分析评价	2
2. 项目前期科研及现有工作条件	4
3. 参考文献	5
三、 实施方案	8
1. 拟解决的关键问题	9
2. 主要研究内容及实施方案	9
3. 技术路线	12
4. 后续技术改造或基本建设计划的衔接	14
5. 有关技术经济指标	14
四、 项目承担单位及参加单位概况	14
1. 单位概况	14
2. 技术力量及人员构成	14
3. 项目主要负责人情况	15
五、 项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件	17
1. 依托工程（工作）概况	17
2. 投资来源	18
3. 工程进度与项目科研进度的配合单位概况	17
4. 组织管理形式	17
六、 项目经费估算及资金筹措情况	20
七、 项目绩效指标	20
八、 预期目标、成果提供形式及经济社会效益	22
1. 项目预期目标（项目的考核目标）	23
2. 提交的研究成果及其形式	23
3. 经济、社会、环境效益分析	24
九、 其它需要说明的问题	25
十、 申请单位意见	25

应用技术、信息化类及软科学类

编写主要内容

一、项目研究的背景和必要性

民航业作为国家现代化进程的重要动力引擎,是衡量国家国际竞争力和发展质量的关键指标,在促进国际贸易、投资与旅游业发展,推动经济增长、文化交流的同时,还能增强国家国际影响力、提升国家安全和应急能力,具有重要的经济、社会、文化及国家战略意义。机场管控是民航业可持续发展的核心环节,直接关系飞行安全、运营效率与环境保护,通过严格协调飞行计划、跑道管理、空中交通指挥等环节保障飞行安全,通过优化调度与服务流程提升运营效率,通过科学管控措施降低环境影响。然而,低空经济的快速发展使得低空空域使用频率大幅增加,低空飞行器与传统民航飞机的空域协调难题凸显,同时全球航空运输需求增长导致机场容量与流量平衡压力加剧,再加上对流天气、无人机干扰等不确定性因素的影响,机场管控面临严峻挑战,传统管控模式已难以应对,亟需借助人工智能技术提升复杂态势下的协同管控能力。

本项目的研究目的是通过人工智能技术赋能机场空地一体智能管控,突破近场空域飞行目标识别与跟踪、近场飞机测距、跑道容量预测等关键技术瓶颈,构建空地一体协同控制理论与方法体系,研发实用化的智能管控软件原型,最终提升机场在复杂态势下的管控效率与安全性,推动智慧民航、绿色民航、安全民航建设,为民航业可持续发展提供支撑。

项目聚焦复杂态势下机场空地一体智能管控问题,依托人工智能、深度学习、多源数据融合、计算机视觉等先进技术,开展五大核心研究:研发基于多元数据融合的近场空域复杂气象下飞行目标识别与跟踪方法,设计基于计算机视觉的近场飞机测距方法,开发混合模型驱动的多平行跑道容量智能预测技术,构建机场空地一体协同控制理论与方法,研发复杂态势下机场空地一体协同智能管控软件原型。通过数据采集与预处理、模型训练与优化、决策模型构建、软件开发与集成等技术路线,实现数据驱动的机场空地一体协同管控,为机场提供全方位、智能化的管控解决方案。

从市场需求前景来看,随着航空运输量持续增长、低空经济快速发展,机场

及相关机构对智能管控技术的需求日益迫切,项目成果能够有效解决机场运行中的实际痛点,市场接受度高,应用潜力广阔。在推广应用领域,项目成果可广泛应用于各类民用机场的运行管控,涵盖飞行区监控、航班调度、跑道管理等场景,还可拓展至低空交通管理、航空安全监管、应急救援调度等领域,其核心技术还可迁移至铁路枢纽、港口码头等综合交通枢纽的智能管控场景。

本项目通过整合前沿技术,将达到国内领先、国际先进的技术水平,研发的核心技术将显著提升复杂环境下目标识别、测距、容量预测的准确性与鲁棒性,开发的软件原型具备良好的实用性与扩展性,能够填补复杂态势下机场空地一体智能管控领域的技术空白。在国民经济发展中,项目成果将助力民航业高质量发展,减少航班延误与运营成本,增强我国民航业国际竞争力;支撑低空经济健康规范化发展,培育新的经济增长点;推动智慧交通体系建设,为综合交通枢纽智能化升级提供示范;同时保障国家民航强国等战略实施,为国民经济稳定增长与高质量发展提供坚实支撑。

二、前期科研及工作基础

1.项目领域研究现状、水平及发展趋势分析评价

(1) 国内外研究现状与水平

机场空地协同管控的基石在于对近场及场面目标的精准态势感知。回顾学术与技术发展脉络,该领域经历了从依赖单一物理特性的基础感知,到引入深度学习的智能增强,再到当前向多源物理信号深度融合演进的三个核心阶段。

第一阶段为基于传统物理特性的基础感知阶段。早期研究主要依赖雷达(Radar)和广播式自动相关监视(ADS-B)等传统监视手段。在此阶段,学术界侧重于利用卡尔曼滤波、点迹平滑等统计学方法,对雷达输出的结构化点迹数据进行处理。虽然雷达在全天候监视方面具有天然优势,但其在近地低空易受杂波干扰,且单一的ADS-B数据高度依赖航空器机载设备的完好率。此时的研究手段多处于“后端数据二次加工”层面,难以解决大型机场复杂建筑物遮挡导致的感知盲区问题,且缺乏对目标视觉特征的利用,导致识别维度单一,难以满足复杂态势下的精细化管控需求。

第二阶段为基于人工智能技术的智能增强阶段。随着计算机视觉与深度学习技术的飞速发展,研究重心开始向利用卷积神经网络(CNN)和循环神经网络

络（RNN）提取目标多维特征转移。国内外学者开展了大量基于 YOLO、Faster R-CNN 等算法的飞行目标检测与跟踪研究，试图通过视频监控数据弥补传统监视手段在空间分辨率上的不足。在此阶段，智能算法显著提升了对航空器机型分类及场面保障车辆的识别精度。然而，现有研究大多仍聚焦于图像层面的特征提取，在面对雨、雪、雾霾等复杂气象态势时，算法的鲁棒性面临严峻挑战。此外，该阶段的研究往往将视频、雷达等数据视为独立的输入源，缺乏在底层信号层面的深度耦合，导致在极端环境下仍存在较高的虚警率和漏报率。

第三阶段为当前立足于物理层信号深度耦合的多源融合阶段，亦是本项目拟立足的技术方向。这一阶段强调不再仅仅利用设备输出的结果数据，而是深入到雷达原始回波信号、ADS-B 底层报文以及视频时序特征的原始物理信号层面进行特征级融合。研究趋势表明，通过解析雷达 RCS（反射截面积）物理特性，并结合视频序列的几何运动约束，可以有效破解复杂态势下的目标识别难题，消除感知不连续性。本项目正是立足于此，拟通过构建多源异构原始信号的冲突检测与协同校验机制，攻克大型机场物理遮挡及极端天气下的感知瓶颈。通过这一阶段的技术突破，研究成果将由单一的态势感知转向具备预见性的决策支持，通过高精度的跑道容量动态预测，为机场运行效率的实质性提升提供可靠的技术底座。

（2）发展趋势与研究动机

从全球行业演变规律来看，机场空地协同管控正朝着全域感知一体化、辅助决策智能化及运行标准精密化深度发展。未来的技术核心不再局限于单一链路的数据处理，而是强调物理层深度融合与预测性调控的结合。感知层面，技术趋势正从后端结果挖掘转向前端设备赋能，通过解析雷达原始回波、ADS-B 底层报文及视频时序特征，消除复杂气象与物理遮挡带来的信息断层。决策层面，基于大数据与深度学习的跑道容量预测正从静态评估转向分钟级的动态预警，旨在通过人工智能算法自动生成进离场排序建议，实现由经验驱动向数据驱动的实质性跨越。

然而，尽管行业趋势明确，但在实际运行中，大型机场枢纽仍面临感知断层与决策延迟两大核心痛点。首先，感知手段的碎片化制约了安全底座的牢靠性。现有的雷达、ADS-B 及视频监控多为独立运行，缺乏在原始物理信号层面的深

度融合,导致在雨雪、大雾等极端天气下极易出现目标丢失或虚假告警,难以支撑高可信度的空地协同管控。其次,运行态势的感知精度不足限制了时刻资源的释放潜力。缺乏对航空器离跑道距离的精准感知及跑道占用时间的动态推演,使得容量预测长期依赖静态经验,无法提供具有预见性的调度建议。基于此,本项目拟通过攻克复杂态势下的目标识别增强与多源数据冲突检测技术,研发集成化软件原型,旨在将海量底层信号转化为直观、可信的决策辅助信息。这不仅是破解极端环境下感知瓶颈的技术必然,更是通过数据驱动实现机场容流平衡与运行效率提升的迫切需求。

(3) 需攻克的技术难点

结合查新分析,现有技术尚未解决的核心难点的如下:

- 1) 复杂态势下多目标识别与跟踪的鲁棒性问题,需突破气象干扰、目标遮挡、多类型目标混杂场景下的高精度识别与实时跟踪技术。
- 2) 数据驱动的飞机测距与跑道容量预测精度提升问题,需解决多源数据噪声过滤、动态因素耦合分析及混合模型优化适配难题。
- 3) 空地一体化协同控制的工程化实现问题,需破解地空交通参与者耦合机制复杂、实时调度算法效率低、软件系统与真实机场运营适配性差等问题。

2. 项目前期科研及现有工作条件

(1) 前期科研工作基础

项目团队具备扎实的前期研究积累,负责人及核心成员 2018 年至 2023 年在新加坡南洋理工大学空管学院从事智慧民航研究,实操“1:1”塔台实验和仿真系统,考察新加坡樟宜机场塔台及区域管制中心,积累了空中交通管理核心知识与实操经验。前期在空域规划、交通流量管制、空中拥堵缓解及碰撞风险评估等领域取得系列成果,尤其在基于深度学习的交通管控技术方面进行了深入探索,为项目研究奠定了关键技术基础。

团队所在的教育部重点实验室,拥有十几年人工智能及深度学习研发积累,在复杂系统建模、大数据分析、协同优化等方面的技术储备,可直接支撑本项目核心算法研发。同时,项目与中国民用航空西北地区空中交通管理局、成都民航空管科技发展有限公司建立长期协作关系,前期已开展数据对接与需求调研,明

确了机场运行中的实际痛点，为研究方向精准定位提供了保障。

(2) 现有工作条件

- 1) 试验手段与设施设备：依托西安电子科技大学的实验室资源，配备高性能计算服务器、GPU/TPU 算力支持，可满足深度学习模型训练与优化需求；拥有 Pandas、TensorFlow、Keras 等数据处理与模型开发工具包，以及 JIRA、Confluence、Docker 等软件开发与部署工具。协作单位西北空管局可提供机场雷达数据、ADS-B 数据、视频监控数据等多源实测数据，西安咸阳国际机场可提供真实场景测试环境，保障算法与软件原型的验证效果。
- 2) 研究人员情况：项目团队由 15 人组成，涵盖控制科学与工程、信息化、计算机技术等多个相关专业。其中高级职称 6 人、中级职称 6 人，核心成员具备机场管控、人工智能算法开发、软件工程化等多领域专长，负责人高原长期深耕智慧民航领域，具备跨学科协调与项目管理能力，团队人员结构合理、经验互补，可高效推进研究工作。
- 3) 协作条件：形成“高校+空管局+科技企业”的三方协作模式。西安电子科技大学负责总体技术路线设计、核心算法研发及学术成果输出；中国民用航空西北地区空中交通管理局提供数据支持、业务需求明确及真实环境验证；成都民航空管科技发展有限公司负责软件原型工程化开发、系统集成及后期技术推广，各方权责清晰、资源互补，为项目顺利实施提供了坚实保障。

3. 参考文献

- [1] Zhang, Y., Liu, X., & Wu, H. (2018). Multi-scale convolutional neural networks for airport ground target detection. *Journal of Aerospace Engineering*, 32(2), 112-124.
- [2] Li, J., Wang, Y., & Chen, M. (2019). Real-time target detection and tracking using YOLOv3 and Kalman filter for airport ground targets. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 36(3), 145-156.
- [3] Wang, L., Zhao, X., & Li, Y. (2020). Integration of deep learning and traditional image processing for airport ground target detection and tracking. *Journal of Aviation Technology and Engineering*, 29(1), 78-89.
- [4] Chen, Q., Zhang, R., & Xu, Z. (2021). Multi-target tracking in airport environments based on deep learning. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 27(4), 233-245.

- [5] Liu, X., Yang, J., & Wang, H. (2022). Deep reinforcement learning for optimizing airport ground target tracking strategies. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 43(2), 567-580.
- [6] Xu, Z., Li, Y., & Zhang, W. (2023). Deep learning-based target detection and trajectory prediction for airport ground targets. *Journal of Machine Learning Research*, 34(3), 123-136.
- [7] Garcia, M., Johnson, P., & Lee, T. (2022). Multi-sensor fusion for robust airport ground target identification and tracking. *Sensors*, 20(8), 2345-2358.
- [8] Anderson, R., Thomas, P., & Smith, K. (2019). Drone-assisted airport ground target recognition and tracking. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 36(4), 456-468.
- [9] Smith, K., Johnson, P., & Lee, T. (2021). AI-based optimization for airport ground target detection and tracking. *Artificial Intelligence Review*, 29(5), 890-903.
- [10] Zhang, H., Li, S., & Wang, Y. (2018). Near-field aircraft distance measurement using edge detection and Hough transform. *Journal of Aviation Technology and Engineering*, 12(1), 56-68.
- [11] Li, M., Zhao, X., & Chen, Y. (2019). Real-time aircraft distance measurement using YOLO and depth information. *Journal of Aerospace Engineering*, 27(2), 134-146.
- [12] Wang, L., Xu, Z., & Li, H. (2020). Deep learning and LiDAR data fusion for near-field aircraft distance measurement. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(3), 1234-1246.
- [13] Chen, Q., Liu, X., & Zhang, R. (2021). Adaptive image enhancement for improved near-field aircraft distance measurement. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 26(1), 45-57.
- [14] Liu, X., Zhang, Y., & Wang, H. (2022). Real-time aircraft distance measurement using optimized neural network models. *Journal of Applied Remote Sensing*, 16(2), 236-249.
- [15] Xu, Z., Li, Y., & Zhang, W. (2023). Aircraft distance measurement and trajectory prediction using deep learning. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 39(4), 345-358.
- [16] Garcia, M., Johnson, P., & Lee, T. (2022). Robust near-field aircraft distance measurement using multi-sensor data fusion. *Remote Sensing*, 14(5), 1123-1136.
- [17] Anderson, R., Thomas, P., & Smith, K. (2019). Low-latency communication networks for real-time aircraft distance measurement. *Journal of Air Traffic Management*, 34(4), 78-90.
- [18] Smith, K., Johnson, P., & Lee, T. (2021). Multi-sensor fusion for accurate near-field aircraft distance measurement. *Sensors*, 21(7), 234-246.
- [19] Zhu, Y., Li, J., & Wu, X. (2018). Convolutional neural networks for airport ground vehicle and obstacle detection. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(5), 1345-1356.
- [20] Wang, L., Zhao, X., & Li, Y. (2019). Real-time detection of airport ground vehicles and pedestrians using YOLOv3. *Journal of Aerospace Engineering*,

28(3), 123-134.

- [21] Chen, Q., Zhang, R., & Liu, X. (2020). Multimodal data fusion for airport ground target recognition. *Sensors*, 20(6), 1456-1468.
- [22] Li, M., Zhao, X., & Chen, Y. (2021). Deep learning and LiDAR data fusion for airport ground obstacle detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(2), 987-998.
- [23] Xu, Z., Li, Y., & Zhang, W. (2021). Deep reinforcement learning for airport ground vehicle navigation and obstacle avoidance. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 24(4), 345-356.
- [24] Garcia, M., Johnson, P., & Lee, T. (2022). UAV-assisted monitoring for airport ground target detection. *Sensors*, 22(7), 1234-1245.
- [25] Anderson, R., Thomas, P., & Smith, K. (2023). Edge computing for real-time airport ground target detection. *IEEE Access*, 11(3), 4567-4578.
- [26] Smith, K., Johnson, P., & Lee, T. (2023). Multi-sensor data fusion for accurate airport ground target identification. *Journal of Applied Remote Sensing*, 17(2), 345-356.
- [27] Kim, S., Park, J., & Lee, H. (2020). Adaptive threshold algorithms for airport ground target detection using CNN. *Journal of Machine Learning Research*, 21(5), 123-135.
- [28] Liu, X., Yang, J., & Wang, H. (2019). Support vector machine-based ground vehicle detection in airport environments. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 17(6), 567-578.
- [29] Zhang, H., Li, S., & Wang, Y. (2020). Multi-scale feature fusion networks for airport ground target detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(6), 1234-1246.
- [30] Yang, J., Liu, X., & Wang, H. (2018). Multi-layer perceptron-based detection of airport ground vehicles and equipment. *Journal of Aerospace Engineering*, 27(3), 456-468.
- [31] Huang, Y., Zhang, L., & Liu, M. (2021). GAN-based image enhancement for airport ground target detection. *Journal of Machine Learning Research*, 22(4), 567-580.
- [32] Park, J., Kim, S., & Lee, H. (2022). Acoustic sensor data fusion for airport runway debris detection. *Sensors*, 22(8), 1456-1468.
- [33] Wang, L., Zhao, X., & Li, Y. (2021). Attention mechanism in CNN for dynamic airport ground target detection. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 45(3), 234-245.
- [34] Chen, Q., Liu, X., & Zhang, R. (2019). Data augmentation using DCGAN for airport ground target detection. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 23(5), 567-578.
- [35] Lee, T., Garcia, M., & Johnson, P. (2020). 3D-CNN for three-dimensional airport ground target recognition. *Journal of Machine Learning Research*, 19(6), 345-356.
- [36] Choi, J., Kim, S., & Lee, H. (2021). UAV-based visual navigation for airport ground target detection. *Journal of Aerospace Engineering*, 30(4), 345-356.

- [37] Zhao, X., Li, Y., & Zhang, W. (2022). Deep reinforcement learning for airport ground vehicle scheduling and optimization. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 35(3), 567-578.
- [38] Sun, M., Liu, X., & Yang, J. (2019). LiDAR point cloud-based airport ground target recognition using deep learning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(4), 1234-1246.
- [39] Xie, Y., Liu, J., & Wang, H. (2017). Predicting runway capacity using machine learning and historical flight data. *Journal of Air Traffic Management*, 34(4), 56-70.
- [40] Chen, Q., Zhang, R., & Xu, Z. (2018). Runway capacity prediction using support vector machines and weather data. *Journal of Aerospace Engineering*, 23(2), 134-146.
- [41] Zhang, H., Li, S., & Wang, Y. (2019). Long short-term memory networks for runway capacity prediction using time series data. *Journal of Air Traffic Management*, 28(3), 123-134.
- [42] Wang, L., Zhao, X., & Li, Y. (2020). Optimizing neural networks for runway capacity prediction using genetic algorithms. *Journal of Aviation Technology and Engineering*, 29(1), 78-89.
- [43] Liu, X., Yang, J., & Wang, H. (2020). Deep learning-based runway capacity prediction using convolutional neural networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 45(2), 567-580.
- [44] Kim, S., Park, J., & Lee, H. (2019). Multivariable time series models for predicting airport runway capacity. *Journal of Machine Learning Research*, 21(5), 123-135.
- [45] Jones, K., Smith, P., & Anderson, R. (2018). Bayesian network models for runway capacity prediction under uncertainty. *Journal of Air Traffic Control*, 34(3), 234-246.
- [46] Smith, K., Johnson, P., & Lee, T. (2017). Runway capacity prediction using random forest algorithms and real-time data. *Journal of Aerospace Engineering*, 27(1), 78-89.
- [47] Lee, T., Garcia, M., & Johnson, P. (2019). Ensemble learning methods for robust runway capacity prediction. *Journal of Machine Learning Research*, 19(3), 345-356.
- [48] Huang, Y., Zhang, L., & Liu, M. (2020). Optimizing airport runway capacity management using reinforcement learning. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 27(4), 233-245.
- [49] Garcia, M., Johnson, P., & Lee, T. (2021). Multi-sensor data fusion for complex runway capacity prediction. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(1), 456-468.
- [50] Anderson, R., Thomas, P., & Smith, K. (2018). Grey prediction models for runway capacity prediction in data-limited scenarios. *Journal of Air Traffic Management*, 28(2), 123-134.

三、实施方案

1. 拟解决的关键问题

- 1) 复杂态势下多目标识别与跟踪鲁棒性技术：突破复杂气象、光照变化、目标遮挡及多类型目标混杂场景下的飞行目标高精度识别与实时跟踪瓶颈，构建适配极端环境的深度学习模型，形成具有自主知识产权的目标识别与跟踪核心算法。
- 2) 多源数据驱动的精准预测技术：解决 ADS-B、雷达、视频监控等多源数据的噪声过滤与融合难题，突破统计方法与深度学习模型的耦合优化技术，实现机场跑道容量的高精度动态预测，形成数据驱动的预测技术体系。
- 3) 空地一体协同管控工程化技术：破解地空交通参与者复杂耦合机制，研发基于强化学习与多目标优化算法的实时协同调度技术，攻克智能管控平台模块化集成与真实机场场景适配难题，形成可工程化应用的协同管控技术方案。

2. 主要研究内容及实施方案

(1) 研究内容

- 1) 复杂态势下民航核心目标的增强识别与特征提取研究：针对西安咸阳国际机场在雨、雪、雾霾及物理遮挡等复杂态势下，现有感知设备存在数据失真与目标丢失的痛点，重点研究基于雷达回波 RCS（反射截面积）物理特性与视频时序特征的底层融合机制。通过对雷达原始回波与 ADS-B 底层报文进行深度解析，建立多源异构信号在特征层面的关联模型，旨在破解大型航空器与场面保障车辆在极端环境下的感知不连续性难题，为后续管控提供高信度的底层数据支撑。
- 2) 基于视频时序驱动的飞机测距与跑道容量动态预测研究：聚焦于航空器离跑道距离的精准感知及跑道接收能力的实时评估，研究将视频图像像素坐标映射为真实物理空间坐标的几何变换算法，并结合目标运动轨迹进行时序平滑处理以降低测距误差。通过整合回归分析与长短期记忆网络 (LSTM)，研究天气条件、航班密度及机型构成对跑道占用时间 (ROT) 的耦合影响规律，构建一套具备自适应修正能力的跑道容量预测模型，实现对未来 15-30 分钟跑道运行趋势的动态量化分析。

- 3) 机场空地一体协同管控平台研发: 基于微服务架构研发集成化软件原型, 实现从多源数据接入、目标增强识别到辅助决策建议的全流程功能闭环。重点攻克多源数据冲突检测与一致性校验算法, 确保在雷达与视频识别结果不符时能自动触发预警并进行逻辑协同。通过构建包含安全间隔约束、航班优先级及资源限制的数学模型, 平台将具备自动生成进离场航班排序建议及跑道容量趋势视图的功能, 从而在业务流程上有效辅助管制员实现容流平衡与运行效率的协同提升。

(2) 实施方案

- 1) 基于多元数据融合的近场空域飞行目标识别与跟踪技术实施方案: 深入研究多源异构数据的融合机制与深度学习模型优化策略, 以解决复杂态势下飞行目标识别与跟踪的鲁棒性问题。在数据融合方面, 针对雷达数据(高精度位置与速度信息)、ADS-B 数据(实时航班状态数据)、视频监控数据(视觉特征信息)的异构特性, 采用“分层融合+动态加权”策略: 底层通过卡尔曼滤波算法对雷达与 ADS-B 数据进行时空对齐, 剔除噪声干扰并补全数据缺失值; 中层利用贝叶斯推理模型对多源数据的置信度进行动态评估, 赋予高可靠性数据更高权重; 顶层通过特征级融合技术, 将视频数据提取的目标轮廓、纹理特征与雷达/ADS-B 数据的运动特征进行融合, 形成多维度目标表征。在模型构建方面, 优化卷积神经网络(CNN)与循环神经网络(RNN)的融合架构: CNN 部分采用多尺度特征提取模块, 适配不同尺寸目标(从大型民航客机到小型无人机)的识别需求; RNN 部分引入长短期记忆网络(LSTM)单元, 捕捉目标运动轨迹的时序关联性, 提升遮挡场景下的跟踪连续性。同时, 针对复杂气象(雨、雾、沙尘)与光照突变场景, 嵌入自适应图像增强模块, 通过亮度均衡、噪声抑制算法优化输入数据质量, 确保模型在极端环境下的识别精度与跟踪稳定性。拟联合中国民用航空西北地区空中交通管理局、西安咸阳国际机场, 收集覆盖不同气象条件、不同时段的数据、ADS-B 数据、高清视频监控数据, 建立包含 5 万+标注样本的大规模数据集, 涵盖各类飞行目标及极端场景。对数据集进行清洗、标注与增强处理, 采用旋转、裁剪、光照变换等技术扩充样本多样性。基于

TensorFlow 框架搭建 CNN-LSTM 融合模型, 通过网格搜索法进行超参数调优, 引入迁移学习策略缩短训练周期、提升泛化能力。在西安咸阳国际机场选取关键监控点位开展实地测试, 验证不同场景下模型的识别准确率、跟踪成功率及实时性, 根据测试反馈优化模型架构与参数, 确保满足实际应用需求。

- 2) 基于视频时序数据驱动的机场容量预测技术实施方案: 聚焦飞机离跑道距离精准计算与跑道容量动态预测两大核心任务, 构建“数据融合-特征挖掘-混合建模”的完整技术体系。在飞机测距方面, 以 ADS-B 和雷达数据为基准真值, 深度挖掘视频时序数据的几何与运动特征: 通过透视变换算法将视频图像映射为真实物理坐标, 结合目标检测算法定位飞机在图像中的像素位置, 建立像素距离与实际物理距离的映射模型; 同时, 利用视频帧间差分法提取飞机运动轨迹, 通过时序平滑处理降低测距误差。在跑道容量预测方面, 系统整合回归分析与时间序列分析技术: 回归分析部分采用多元线性回归与梯度提升树 (GBRT) 结合的方式, 量化天气条件 (能见度、风速)、航班密度、机型构成等关键因素对容量的影响权重; 时间序列分析部分基于长短期记忆网络 (LSTM), 捕捉跑道容量的时序演变规律, 适配不同时间段 (高峰时段、平峰时段) 的容量波动特性。通过构建“统计模型+深度学习”的混合预测框架, 先利用回归模型输出基础容量预测值, 再通过 LSTM 模型对预测残差进行修正, 同时引入注意力机制聚焦关键影响因子, 实现高精度、动态化的跑道容量预测。在实际操作中, 整合西安咸阳国际机场的视频监控数据、ADS-B 数据、雷达数据、天气数据及运行日志, 统一数据格式与时间戳, 进行时空对齐与异常值剔除 (采用箱型图法与 3σ 原则)。构建大规模数据集并按比例划分为训练集、验证集与测试集, 利用 OpenCV 库提取视频时序特征, 通过 Scikit-learn 工具包构建回归分析模型, 基于 TensorFlow 框架开发 LSTM 预测模型。先分别训练回归模型与 LSTM 模型, 再通过加权融合策略构建混合预测模型, 在验证集上优化融合权重与超参数。利用机场历史运行数据对模型进行测试, 采用平均绝对误差 (MAE)、均方根误差 (RMSE) 评估预测精度, 针对薄弱场景补充样本并优化模型。

- 3) 机场空地一体协同管控平台研发实施方案：构建模块化、高兼容的智能管控平台，集成核心技术成果并研发高效协同调度策略。平台架构采用“分层设计+松耦合集成”模式：数据层搭建多源数据接入接口，支持与机场现有 ADS-B 系统、雷达监控系统、调度指挥系统的无缝对接，通过数据标准化处理实现异构数据的统一管理；算法层封装飞行目标识别与跟踪、飞机测距、容量预测等核心算法模块，支持算法的灵活替换与升级；应用层设计可视化监控、智能调度、决策支持等功能模块，满足空管人员的实际操作需求。在协同调度策略研发方面，基于多目标优化算法与强化学习技术：以“最大化跑道容量利用率、最小化航班延误时间、保障飞行安全”为优化目标，构建包含空域资源约束、航班优先级约束、安全间隔约束的数学模型；采用遗传算法与蚁群算法融合的混合优化算法，快速求解多约束条件下的调度方案；引入强化学习机制，通过与真实运行环境的交互不断优化调度策略，提升对突发场景（如航班晚点、天气突变）的自适应能力。同时，平台具备良好的扩展性，支持后期新增功能模块（如地面车辆协同、低空飞行器管控）的集成接入。拟采用 React 前端框架与 Django 后端框架搭建平台架构，前端设计可视化监控界面与操作面板，后端开发数据接入、算法集成、数据库管理等核心模块，采用 MySQL 数据库存储数据与运行日志，通过 Redis 缓存提升访问速度。基于 Docker 容器化技术实现平台快速部署与环境适配，将开发的核心算法封装为独立服务，通过 API 接口与平台集成。基于 Python 实现遗传算法、蚁群算法与强化学习模型，构建多目标优化函数与调度方案生成模块。联合中国民用航空西北地区空中交通管理局开展场景化测试，模拟正常运行、航班高峰、极端天气等场景，测试平台兼容性、算法响应速度与系统稳定性，根据测试反馈优化界面交互与系统性能，确保平台满足实际运营需求。

3. 技术路线

(1) 研究技术方案

- 1) 数据采集与处理：以西安咸阳国际机场为核心研究对象，联合西北空管局采集雷达数据、ADS-B 数据、视频监控数据、历史轨迹数据、气象数

据等多源数据，覆盖复杂气象、不同航班密度等场景，采集数据量满足大规模模型训练需求。采用 Pandas、TensorFlow 等工具进行数据清洗、去噪、填充、标准化与增强处理，构建结构化、半结构化、非结构化分类数据库。

- 2) 模型研发与训练：针对目标识别与跟踪，采用 CNN+RNN 融合模型，引入注意力机制优化特征提取；针对容量预测，结合统计分析与深度学习模型，构建混合预测框架；针对协同管控，采用多目标优化算法与强化学习结合的方法。基于 GPU/TPU 高性能计算资源，分阶段开展模型训练、超参数调优与交叉验证，确保模型性能。
- 3) 平台开发与验证：采用模块化设计思路，分前端、后端、算法集成三个层面开展平台开发，通过 Docker 容器化技术实现部署；在西安咸阳国际机场开展实地验证，通过定量指标（识别准确率、测距精度、预测误差等）与定性指标（操作便捷性、兼容性等）评估系统性能。

(2) 研究工作流程



图 1 研究工作流程图

上图展示了项目软件原型的完整开发流程，始于需求分析阶段（借助 JIRA、Confluence 工具明确业务需求），依次推进至系统设计（通过 UML 图、Lucidchart 完成架构设计）、数据处理（运用 Pandas、NumPy 等工具保障数据质量）、模

型开发（依托 TensorFlow、Keras 进行模型训练与验证）、软件开发（采用 React、Django 框架开展前后端开发）、模型集成与部署（通过 Docker、Flask API 实现模型部署落地），最终以维护与更新（利用 JIRA、New Relic 工具持续优化系统）收尾，形成闭环式开发体系，全程贴合项目“理论成果工程化转化”的核心目标，与文档中“机场空地一体协同管控软件原型开发”的研究内容高度契合，为软件原型的高效研发与稳定应用提供了清晰的流程指引。

4. 后续技术改造或基本建设计划的衔接

项目研究成果可直接对接西安咸阳国际机场及西北空管局的智慧化升级改造计划，为机场塔台智能管控系统升级提供核心技术支撑。其中，飞行目标识别与跟踪技术可集成至机场现有监控系统，提升复杂态势下的空域感知能力；跑道容量预测技术可嵌入机场调度指挥系统，优化航班排班与资源配置；空地一体协同管控平台可作为独立模块与机场现有运行管理系统对接，实现管控流程的智能化升级。

成果成熟后，可逐步推广至陕西省内其他干线机场、支线机场，形成标准化的智能管控解决方案，支撑全省民航机场智慧化改造工程。同时，核心技术可迁移至低空交通管理领域，为低空经济发展中的空域协同管控提供技术参考，对接国家低空经济试点建设需求，具有广阔的应用推广前景。

5. 有关技术经济指标

本项目拟利用人工智能技术赋能机场空地一体智能管控，以提升机场在复杂态势下的管控能力。本项目目前主要展开理论和技术层面的研究，拟通过本项目的实施促进与咸阳机场以及西北空管局的密切合作，最终以提升咸阳机场塔台智能水平为目的，因此本项目目前不涉及技术经济指标。本项目目前主要展开理论和技术层面的研究，拟通过本项目的实施培养交通运输领域的专业人才，提升研究生解决实际工程问题的能力，促进研究生就业情况。

四、项目承担单位及参加单位概况

1. 单位概况

西安电子科技大学作为项目牵头承担单位，坐落于陕西省西安市雁塔区太白南路 2 号，通讯邮编 710071，单位性质为大专院校，是具备深厚科研底蕴和强

劲技术实力的高等学府。

学校科研基础雄厚，拥有教育部重点实验室，该实验室长期聚焦人工智能基础理论及其工程应用研究，在深度学习领域积累了十几年的研发经验，为项目核心技术突破提供了坚实的技术支撑。学校在控制科学与工程、计算机技术等相关学科领域拥有完善的科研体系和人才梯队，具备开展复杂技术研发的综合能力。

项目核心研究力量配备精良，项目负责人高原为副高级职称，专业领域为控制科学与工程，主要负责项目技术路线研究及整体管理协调工作；核心成员蔡清、张满、杨志等同样为副高级职称，专注于控制科学与工程领域，协助开展技术路线设计与项目管理。团队成员在协同优化、大数据分析、复杂系统建模、机器学习等方面具有丰富研究经验，前期已在智慧民航、交通流量管制、空中拥堵缓解及碰撞风险评估等领域取得相关成果，为项目研究奠定了扎实的工作基础。

在项目实施中，学校承担核心职责，负责项目总体技术路线设计、深度学习核心模型研发、学术论文撰写及专利申请等关键工作，同时统筹协调中国民用航空西北地区空中交通管理局、成都民航空管科技发展有限公司等参与单位的研究进度，确保项目整体研究方向与目标一致，推动研究成果的高效产出与落地。

2. 技术力量及人员构成

姓名	单位	性别	年龄	技术职称	专业	在项目中担任具体工作
蔡清	西安电子科技大学	男	39	副高级	控制科学与工程	项目技术路线研究；项目管理与协调
高原	西安电子科技大学	男	29	副高级	控制科学与工程	项目技术路线研究；项目管理与协调
张满	中国民用航空西北地区空中交通管理局	男	39	副高级	信息化	算法研究与开发；实验设计与实施；项目管理与协调
杨志	成都民航空管科技发展有限公司	男	47	副高级	信息化	项目管理与协调；算法开发与应用
王智	中国民用航空西北地区空中交通管理局	男	39	中级	信息化	项目管理与协调；实验设计与实施

张浩楠	中国民用航空西北地区空中交通管理局	男	36	副高级	信息化	项目管理与协调；实验设计与实施
李立哲	西北工业大学	男	37	中级	信息化	算法开发与应用
钟聃	中国民用航空西北地区空中交通管理局	男	39	副高级	信息化	项目管理与协调；实验设计与实施
申宽	成都民航空管科技发展有限公司	男	34	中级	信息化	算法开发与应用
张旭东	成都民航空管科技发展有限公司	男	35	中级	信息化	算法开发与应用
肖明彦	成都民航空管科技发展有限公司	男	28	中级	信息化	算法开发与应用
彭政超	成都民航空管科技发展有限公司	男	29	中级	信息化	算法开发与应用
胡祖鑫	西安电子科技大学	男	23	其他	计算机技术	算法开发与应用
余允鉴	西安电子科技大学	男	22	其他	计算机技术	算法开发与应用
刘鹏	西安电子科技大学	男	22	其他	计算机技术	算法开发与应用

3. 项目主要负责人情况

项目合同编号		25-53K	密级	/	A: 机密 B: 秘密 C: 内部	
项目名称		复杂态势下机场空地协同管控方法及应用				
项目实施所在地		西安	起止年限	2026 年 1 月至 2027 年 12 月		
总 经 费		39.5 万元	厅 拨		19.75 万元	
第一 承担	单位名称	西安电子科技大学				
	所在地	陕西省西安市雁塔区			代码	

单位	通讯地址	陕西省西安市雁塔区太白南路2号				邮编	710071		
	单位性质	√1. 大专院校 2. 科研院所 3. 企业 4. 其它				代码			
参与单位	序号	单位名称							
	1	西安电子科技大学							
	2	中国民用航空西北地区空中交通管理局							
	3	成都民航空管科技发展有限公司							
项目负责人		姓名	蔡清		性别 (1) 1. 男 2. 女		出生年份	1987	
		学历	(1) 1. 研究生 2. 大学 3. 大专 4. 中专 5. 其它						
		职称	(1) 1. 高级 2. 中级 3. 初级 4. 其它						
		联系电话	18700992316 029-88202276		电子邮箱	caiqing@xidian.edu.cn			
项目联系人		姓名	高原		性别		男		
		联系电话	15002940026 029-88202276		电子邮箱	gaoyuan@ieee.org			
项目组人数	15	高级	6	中级	6	初级	0	其它	3
主要内容 (100字以内)		该研究内容是将本项目制定的基于深度学习的近场空域飞行目标识别与跟踪、近场飞机测距、跑道容量等研究内容进行整合,构建空地一体协同管控模型,基于多源数据整合与多模态深度学习技术,研发协同管控理论与方法,以此提高机场的管控效率。							
成果属性	D	A: 新技术 B: 新工艺 C: 新材料 D: 新产品 E: 软科学 F: 装备 G: 其他							
成果形式	E	A: 专著、论文 B: 样机、样品 C: 试验工程、产品 D: 示范工程 E: 产品 F: 其他							

五、项目依托工程(工作)情况及其他必要支撑条件

1. 依托工程(工作)概况

本项目依托西安咸阳国际机场及西北空管局的运行保障工作开展,西安咸阳国际机场作为区域枢纽机场,年旅客吞吐量规模大,飞行区涵盖多平行跑道及复杂近场空域(半径 ≤ 10 公里),涉及跑道滑跑、近空飞行、五边进离场等多类运行场景,其工程技术特点体现为空中交通流量密集、空地协同需求迫切,且受复杂气象(雨、雾、沙尘)、低空经济活动(无人机物流、低空旅游)等多因素

干扰，对近场空域目标识别、飞机测距、跑道容量预测及空地协同管控的技术要求高。本项目是根据参与单位的需求定制系统，非针对既有平台的升级。

2. 投资来源

本项目总投资 39.5 万元，投资来源为陕西省交通运输厅专项补助资金与 1:1 配套自筹资金。资金主要用于项目实施过程中的业务费（包括材料支出、差旅支出、出版/文献/信息传播/知识产权事务/印刷支出等）、劳务费（劳务性支出、咨询专家支出）及间接费用（管理费），为项目数据采集、模型研发、软件原型开发、技术验证等工作提供资金保障。

3. 工程进度与项目科研进度的配合

年度	计划工作内容
2026 年度第二季度	项目团队与西北空管局、西安咸阳国际机场对接，同步依托单位的日常运行数据采集工作，完成科研所需多源数据（雷达数据、ADS-B 数据、视频监控数据等）的采集方案制定与数据收集，确保科研数据与工程实际数据同源同步。
2026 年度第三至第四季度	在依托单位现有运行数据基础上开展数据预处理、模型设计与算法开发，同步依托单位的运行场景，针对复杂气象、目标遮挡等实际工程中常见的问题，优化目标识别、容量预测等核心算法，确保技术研发贴合工程实际需求。
2027 年度第一至第四季度	结合依托单位的航班调度、跑道使用等业务工作，对研发的算法进行调优，开展空地协同管控模型与算法的仿真验证，利用依托单位的运行环境检验技术可行性。
2028 年度第一季度	在依托单位的支持下完成软件原型的测试与优化，将科研成果与工程实际应用场景对接，确保研究成果能够直接服务于依托工程的运行效率提升和智能化升级。

4. 组织管理形式

项目采用“高校+行业管理单位+科技企业”的三方协同组织管理形式，明确分工、密切配合：

- 1) 西安电子科技大学作为牵头单位，负责项目总体技术路线设计、深度学习核心模型研发、学术论文撰写及专利申请，统筹协调项目整体进度，对接各参与单位的工作衔接。
- 2) 中国民用航空西北地区空中交通管理局作为行业管理单位，负责提供机

场运行实测数据、明确业务需求场景，协助算法在真实环境下的验证与测试，反馈工程实际应用中的优化建议。

- 3) 成都民航空管科技发展有限公司作为科技企业，负责协同管控软件原型的工程化开发、系统集成，推动科研成果的工程化转化与技术推广，确保研究成果符合行业应用标准。
- 4) 三方建立定期沟通机制，通过项目推进会、技术研讨会等形式同步工作进展，协调解决项目实施过程中的数据获取、场景验证、技术适配等问题，保障项目按计划顺利推进。

六、项目经费估算及资金筹措情况

对经费估算及资金筹措情况说明，提供所需经费测算说明。

经费投入（万元）		经费支出（万元）			
科 目	估算数	科 目	总经费	厅补经费	其他经费
省交通运输厅补助	19.75	合 计	39.5	19.75	0
工程配套研究经费	0	1.设备费	0	0	0
单位自筹	19.75	（1）购置设备费	0	0	0
其他经费	0	（2）设备改造与租赁费	0	0	0
		2.业务费	12	6	0
		（1）材料费	0.4	0.4	0
		（2）测试化验实验加工费	0	0	0
		（3）燃料动力费	0	0	0
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	10.8	4.8	0
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	0.8	0.8	0
		（6）其他费用	0	0	0
		3.劳务费	23.55	11.775	0
		（1）专家咨询费	2	2	0
		（2）聘用人员劳务费	21.55	9.775	0
		（3）其他劳务费	0	0	0
		（二）间接费用	3.95	1.975	0
		4.管理费	3.95	1.975	0
		5.绩效支出	0	0	0

七、项目绩效指标

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	知识产权	1、专利授权数（项）	0
		（1）授权发明专利	0
		（2）实用新型	0
		（3）外观设计	0
		2、软件著作权授权数（项）	0
		3、发表论文（篇）	1
		（1）其中 SCI 索引收录数	0
		（2）其中 EI 索引收录数	0
		（3）其它	1
		4、著作（部）	0
		5、制订标准数（项）	1
		（1）国际标准	0
		（2）国家标准	0
		（3）行业标准	0
		（4）地方标准	0
		（5）企业标准	0
		（6）科技报告	1
	其他成果	1、填补技术空白数	0
		（1）国际	0
		（2）国家	0
		（3）省级	0
		2、获奖项数	0
		（1）国家奖项	0
		（2）部、省奖项	0
		（3）地市级奖项	0
		3、其他科技成果产出	0
		（1）新工艺（或新方法模式）	0
		（2）新产品（含农业新品种）	0
		（3）新材料	0
		（4）新装备（装置）	0
		（5）平台/基地/示范点	0
		（6）中试线	0
		（7）生产线	0

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4、研究开发情况	
		(1) 小试	否
		(2) 中试(样品样机)	否
		(3) 小批量	否
		(4) 规模化生产	否
	人才引育	1、引进高层次人才	0
		(1) 博士、博士后	0
		(2) 硕士	0
		2、培养高层次人才	5
		(1) 博士、博士后	0
		(2) 硕士	5
		3、培训从事技术创新服务人员(人次)	0
		4、是否设立科研助理岗位	否
	产业化情况	1、开放共享仪器设备数(台/套/只等)	0
		2、科研仪器设备利用率(%)	0
		3、孵化科技型企业(个)	0
		4、转化科技成果(个)	0
效果类指标	经济效益	1、新增产值(万元)	0
		2、新增销售(万元)	0
		3、新增出口创汇(万美元)	0
		4、新增利润(万元)	0
	社会效益	1、新增税收(万元)	0
		2、新增就业人数	0
		3、就业培训(人次)	0
		4、带动农民增收(万元)	0
		5、培训和指导科技服务(人次)	0
		6、新增产业带动情况	0
		7、技术集成示范(项)	0
		8、建立示范基地(亩数)	0
		9、节约资源能源	0
		10、环保效益	0
其他需要说明的情况			

八、预期目标、成果提供形式及经济社会效益

1. 项目预期目标

本项目以人工智能技术为核心，赋能机场空地一体智能管控，核心考核目标如下：

- 1) 构建一个信息共享、智能决策、协同高效的机场空地协同管控平台；
- 2) 提升效率：通过优化航班全程管理（从起飞、着陆到地面滑行），有效减少航班延误，提升航班正点率和机场资源利用率；
- 3) 保障安全：增强对跑道、滑行道等关键区域的冲突预警和管控能力，提高运行安全裕度；
- 4) 加强协同：打破信息壁垒，建立机场、空管、航司等多方统一的协同指挥与决策机制；
- 5) 智能应急：提升在面对恶劣天气、设备故障等特殊情况下的快速响应和协同处置能力；
- 6) 人才与交流目标：培养交通运输领域专业人才，提升研究生解决实际工程问题的能力，开展媒体宣传报道 3 次、技术交流 1 次。

2. 提交的研究成果及其形式

本项目顺利实施后，将提交的研究成果及形式如下：

- 1) 研发 1 套功能完备的“空地协同管控应用平台”软件，具备统一态势显示、智能决策支持、协同指挥等功能，并完成新平台与现有相关系统的数据对接和集成部署；
- 2) 产出 2 项核心技术算法模型（进场空域飞行目标识别算法模型、机场容量预测算法模型），以算法说明文档及可运行程序形式提交；
- 3) 在 SCI 期刊发表 1 篇学术论文（注明“依托陕西交通科技项目（项目编号：25-53K）”）
- 4) 形成 1 份包含协同管控方法、运行流程优化方案及核心算法模型的研究报告；
- 5) 培养 5 名硕士研究生，提交研究生培养相关证明材料（如开题报告、中期考核表、毕业论文等）；

- 6) 完成3次媒体宣传报道及1次技术交流,提交报道截图、交流会议纪要、参会人员名单等相关证明文件;
- 7) 提供全面的技术培训和为期2年的运维服务。

3.经济、社会、环境效益分析

在运行安全与风险防控方面,本项目通过技术手段构筑了机场场面的安全新底座。针对西安咸阳国际机场等大型枢纽在雨雪、大雾及物理遮挡等复杂态势下感知失真的痛点,本项目研发的增强识别算法能有效破解目标丢失难题,实现对航空器及保障车辆的全流程、高可靠监视。通过建立多源异构数据的一致性校验与冲突告警机制,系统能够实时识别雷达、ADS-B与视频信号间的逻辑矛盾,在潜在冲突发生前为管制员提供精准预警。这种从“底层信号融合”出发的感知模式,显著提升了机场在极端环境下对突发事件的响应速度,对于降低场面侵入风险、保障民航运行安全具有重大的社会安全效益。

在运行效率与经济减排方面,项目成果直接赋能机场时刻资源的精细化释放。依托精准的跑道占用时间(ROT)感知与未来一段时间的跑道容量动态预测,本项目为机场协同决策(A-CDM)提供了高信度的决策参考,有助于缓解高峰时段的流量不平衡问题。通过优化航班进离场排序建议,能够有效缩减航空器在地面滑行道和跑道头的无效等待时间。据理论推演,航班地面平均延误时间的缩短将直接降低航空公司的航油消耗与碳排放,在提升机场时刻吞吐量、创造直接经济效益的同时,积极响应了民航“绿色飞行”的发展战略。

此外,在管理模式创新与人才培养方面,本项目推动了民航管控从经验驱动向数据驱动的实质性跨越。研发的集成化软件原型打破了各监视设备间的信息孤岛,将碎片化的原始信号转化为直观、可解释的辅助决策信息,显著降低了管制人员在高负荷环境下的认知压力与操作冗余。在项目实施过程中,通过产学研用的深度协同,不仅能攻克一系列具有自主知识产权的感知算法,更培养了一批具备“民航业务+人工智能”跨界能力的复合型创新梯队。这种管理模式的变革与人才储备,为我国智慧民航建设提供了核心技术支撑与智力保障。

在行业示范与推广前景方面,本项目具备极强的复制潜力与社会带动效应。研究成果不仅适用于西安咸阳国际机场这类大型多跑道枢纽,还可快速推广至国内中小型机场的智能化改造中,协助提升其复杂天气下的保障能力。随着低空经

济的快速发展，本项目在异构目标识别与空地协同管控方面的技术积累，未来可扩展应用至有人机/无人机融合运行监控等新兴场景。通过形成一套可落地的民航感知与管控算法体系，项目将助力提升我国民航装备的国产化水平与核心竞争力，具备广阔的市场应用空间与长远的行业示范价值。

九、其它需要说明的问题

无。

十、申请单位意见



单位负责人：（签字）

唐海波

年 月 日

复杂态势下机场空地协同管控方法及应用

大纲评审意见

2026年3月24日，陕西省交通运输厅在西安主持召开“复杂态势下机场空地协同管控方法及应用”（项目编号：25-53K）项目大纲评审会。与会专家（名单附后）听取了项目组的汇报，审阅了项目研究大纲，经质询讨论，形成如下评审意见。

一、项目研究内容全面，研究目标较为明确，技术路线可行。

二、项目研究人员组成合理，前期研究基础扎实，试验设备齐全，依托工程落实，具备开展研究工作的条件。

三、预期成果覆盖研究目标，与研究内容的逻辑框架契合。

与会专家一致同意该项目研究大纲通过评审。

建议：

1.落实配套经费；

2.在大纲中进一步完善项目目标、质量与培训等内容。

主任委员：李武峰

2026年3月24日

紅

专家审查意见表

项目名称	复杂态势下机场空地协同管控方法及应用				
专家姓名	李时一	职务/职称	正高工	专 业	公路工程
专家单位	铜川市交通运输局			联系电话	13909190090

评审意见

以下意见仅供参考：

1. 为原数据接入可否增加北斗卫星导航系统或5G网络数据，扩大其执行的准确性。

2. 研究探索“运输航空+通用航空+无人机”混合运行的协同管控方法。

3. 经费估算中没有配套研究经费。

评审专家（签字）：

李时一

2026 年 3 月 24 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）



专家审查意见表

项目名称	复杂态势下机场空地协同管控方法及应用				
专家姓名	梁武星	职务/职称	正高	专业	公路工程
专家单位	西安公路研究院			联系电话	13609110361

评审意见

进一步
建议：请对照立项内容，完善
大纲编写。比如，项目目标：（提升
效率、保障安全、加强协调、智能决策等）；
实施与交付要求，质量与培训。
↓
缺少部分

评审专家（签字）：

梁武星

2026年3月24日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

专家审查意见表

项目名称	复杂态势下机场空地协同管控方法及应用				
专家姓名	路鑫	职务/职称	正高级工程师	专 业	公路工程
专家单位	陕西高速公路工程试验检测有限公司			联系电话	15091850063

评 审 意 见

项目聚焦复杂态势下机场空地一体智能管控问题，依托人工智能、深度学习、多源数据融合、计算机视觉等先进技术，开展机场空地协同管控方法及应用研究，对于提升机场在复杂态势下的管控效率与安全性有积极促进作用，同意立项。建议如下：

- (1) 增加完善国内外研究现状，梳理研究内容，明确管控方法包括内容，重新梳理研究技术路线；
- (2) 明确项目依托工程，明确是针对既有平台的升级还是根据参与单位的需求定制系统；
- (3) 项目经费偏少，缺少配套经费，项目成果增加研究报告（科技报告中研究内容需覆盖）和知识产权（与研究内容第三部分研发平台对应）。

评审专家（签字）：

2026 年 3 月 24 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

Handwritten red text in the left margin, possibly a page number or reference.

专家审查意见表

项目名称	复杂态势下机场空地协同管控方法及应用				
专家姓名	罗 强	职务/职称	教授	专 业	道路与铁道工程
专家单位	西南交通大学			联系电话	1390823860

评 审 意 见

机场管控是民航业可持续发展的核心环节，直接关系飞行安全、运营效率与环境保护。然而，低空经济的快速发展使得低空空域使用频率大幅增加，低空飞行器与传统民航飞机的空域协调难题凸显，再加上对流天气、无人机干扰等不确定性因素的影响，机场管控面临严峻挑战，传统管控模式已难以应对，亟需借助人工智能技术提升复杂态势下的协同管控能力。

通过人工智能技术赋能机场空地一体智能管控，突破近场空域飞行目标识别与跟踪、近场飞机测距、跑道容量预测等关键技术瓶颈，构建空地一体协同控制理论与方法体系。为此，课题的主要研究内容包括：1) 复杂态势下民航核心目标的增强识别与特征提取研究；2) 基于视频时序驱动的飞机测距与跑道容量动态预测研究；3) 机场空地一体协同管控平台研发。其中，复杂态势下多目标识别与跟踪鲁棒性技术，空地一体协同管控工程化技术等是拟解决的关键技术问题。

项目研究内容完整，目标明确，技术路线可行；课题组具备良好研究基础和实验条件，承担单位有较强技术研发能力，人员组成合理；预期研究成果覆盖意见目标，与研究内容的逻辑框架契合，拟提出的研究成果形式有技术报告、专利论文、软件和算法等，同意研究大纲通过评审。

建议：研究内容聚焦近距离的低空小目标，产品以低成本、模块轻量化、便携移动式为重点。

评审专家（签字）：



2026 年 03 月 24 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

卷一百一十五

专家审查意见表

项目名称	复杂态势下机群空地协同管控方法及应用				
专家姓名	申俊利	职务/职称	正高	专业	公路工程
专家单位	山西交通科讯科技集团			联系电话	13803469957

评审意见

项目研究内容全面,技术路线可行,同意大纲通过评审。

建议:

1. 突出研究重点,重点在算法的研究以提升准确性提升。

评审专家(签字):

申俊利

2026年3月24日

(本意见入档,填写工整,纸面不敷,可另加纸)

复杂态势下机场空地协同管控方法及应用 (项目编号: 25-53K)

大纲评审专家委员会名单

序号	评审会职务	姓名	工作单位	所学专业	从事专业	职称/职务	签名
1	主任委员	梁武星	西安公路研究院	公路工程	公路工程	正高工	梁武星
2	委员	路鑫	陕西高速公路工程试验检测有限公司	公路工程	公路工程	正高工	路鑫
3	委员	赵卫东	铜川市交通运输局	公路工程	公路工程	正高工	赵卫东
4	委员	罗强	西南交通大学	道路与铁道工程	路基工程	教授	网上评审
5	委员	申俊敏	山西交通科学研究院集团	公路工程	公路工程	正高工	网上评审

专家意见处理表

项目名称：复杂态势下机场空地协同管控方法及应用 (项目编号： 25-53K)

序号	姓名	建议内容	处理意见 (逐条回应，详细说明修改情况)
1	梁武星	对照立项内容进一步完善大纲编写，如项目目标、实施与交付要求、质量与培训	已在 8.2 中补充提供全面的技术培训和为期 2 年的运维服务
2	赵卫东	落配套经费	已落实补充 19.75 万元 1: 1 单位自筹经费，并在经费支出预算表中对照完善
3	路鑫	明确项目依托工程，明确是针对既有平台的升级还是根据参与单位的需求定制系统	本项目是根据西安咸阳国际机场的需求定制系统，已在 5.1 依托工程概况中补充说明
4	路鑫	项目成果增加研究报告（科技报告中研究内容需覆盖）	已在 8.2 中补充形成 1 份包含协同管控方法、运行流程优化方案及核心算法模型的研究报告

路鑫

大纲评审委员会专家（签字）：

项目负责人（签字）：蔡清