



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY

**航空应急救援组织实施问题研究
航空救援研究经历佐证材料**

北京航空航天大学

2021 年 7 月 1 日

目录

航空应急救援组织实施问题研究	i
航空救援研究经历佐证材料	i
1 前言	1
2 航空应急救援体系研究	2
2.1 航空应急救援力量布局规划仿真	2
2.1.1 项目简介	2
2.1.2 研究目标	3
2.1.3 研究方法	3
2.1.4 研究成果	5
2.2 航空应急救援体系顶层设计	7
2.2.1. 森林火灾救援机队数量论证	7
2.2.2. 森林灭火航空撒水需求论证	8
2.3 冬季运动航空医疗救援体系仿真	10
2.3.1 项目简介	10
2.3.2 研究目标	11
2.3.3 研究方法	11
2.3.4 研究成果	12
3 航空应急救援体系辅助决策平台	14
3.1 面向洪涝灾害的航空应急救援调度策略仿真推演	14
3.1.1 项目简介	14
3.1.2 研究目标	15
3.1.3 研究方法	16
3.1.4 研究成果	18
3.2 海上应急处置决策支持技术研究	18

3.2.1 项目简介	18
3.2.2 研究目标	19
3.2.3 研究方法	20
3.2.4 研究成果	21
3.3 930 水难特种救援演习应急处置预案仿真	22
3.3.1 项目简介	22
3.3.2 研究目标	23
3.3.3 研究方法	23
3.3.4 研究成果	24
3.4 航空应急救援体系设计与运用虚拟仿真竞赛系统	24
3.4.1 项目简介	24
3.4.2 研究目标	25
3.4.3 研究方法	26
3.4.4 研究成果	26
4 航空应急救援训练系统	27
4.1 项目简介	27
4.2 研究目标	28
4.3 研究方法	29
4.4 研究成果	33
附表：团队航空应急救援相关研究成果清单.....	34

1 前言

北航航空应急救援研究团队依托“航空器先进设计技术”工业和信息化部重点实验室、“城市应急保障与模拟技术”北京市重点实验室和“虚拟现实技术与系统”国家级重点实验室三个实验室，在航空应急救援方面开展了近十年的研究，综合了北航相关领域多方面学科优势，在工信部、科技部等重大科研项目的支持下，通过自主研发，逐步在顶层设计、辅助决策系统和协同训练平台等方面对航空应急救援提供支撑。

2012 年以来课题组内多名博士以航空应急救援为研究方向，发表《基于面向对象和 Agent 的航空应急救援任务建模与仿真》、《航空海上应急救援智能决策支持方法研究》等四篇博士论文，同时现有两名博士正在开展航空应急救援领域的研究。

课题组针对体系层面的应急救援应用等进行研究，已在重要的期刊和国际会议发表了 24 高水平学术论文，包括四篇 Q1 区 SCI 论文，其中一篇 CJA 论文入选首批“领跑者 5000—中国精品科技期刊顶尖论文”，《Evaluation method for helicopter maritime search and rescue response plan with uncertainty》作为封面推荐论文。

课题组在航空应急救援方面的学术研究共计被受理和授权 24 个专利，包括《一种面向海上搜救任务仿真的直升机油耗模型构建方法》等，取得《海上应急处置决策支持系统 V1.0》等 3 个软件著作权。

2 航空应急救援体系研究

2.1 航空应急救援力量布局规划仿真

2.1.1 项目简介

随着我国航空应急救援体系的不断建设，航空基地点的选址研究以及救援力量的合理部署需求越来越强，本研究基于现状出发，对我国森林火灾、洪涝灾害和地震灾害的需求分布进行了研究分析，并且结合直升机的性能和任务剖面，给出了现有布置下的全国自然灾害需求分布。以需求为基础，制定基地选址基本规则，以一定覆盖率为指标，构造基地布置模型，并给出了不同国产机型与进口机型数量比例下的基地布置可能范围及最优布置方案。在基地布置方案基础上，为使得全国大部分地区能够满足 90 分钟内到达 10-15 架次直升机，进一步设计补充规则，构建机型布置模型并仿真推演，给出了四种比例方案下的机型补充可能范围，以及最优的布置方案。



图 1 中国航空应急救援力量需求体系化论证及仿真平台

2.1.2 研究目标

根据我国“多灾种”“大应急”救援需求，面向森林火灾、地震和地质灾害、洪涝灾害等我国常见的大型自然灾害，围绕国家航空应急救援体系的航空器数量需求、机型组成结构、部署规划等顶层规划问题，通过对现有航空应急救援力量能力分析，研究现有航空应急救援力量任务能力覆盖范围情况，提出初步实现我国国土面积范围内航空应急救援全覆盖的机型、数量和部署规划参考建议。

具体地，将航空应急救援力量布局规划仿真研究内容细分为以下四点：

- 1) 航空应急救援任务研究
- 2) 现有布置下的需求分析
- 3) 基地布置规划研究
- 4) 机型布置规划研究

2.1.3 研究方法

不同的自然灾害救援模式之间存在较大的不同，对应急救援航空器的能力要求也各有不同。本研究首先从官方网站及统计年鉴中搜集森林资源，地震烈度和河流水系的分布情况，并在此基础上对“地震”、“森林”、“洪涝”等三种典型自然灾害进行统计分析，获得地震，森林火灾和洪涝灾害在现有基地布置下的需求分布情况，同时对我国现有的航空器性能以及目前的部署方案进行梳理。



图 2 基地机型自动化布置系统界面

在基地布置规划部分，本研究首先定义了机型比例，即一指国产/进口的比例，二指国产（进口）条件下的各种机型被选择的比例。接着以需求为基础，结合需求更新以及考虑到基地以及机型的覆盖范围，在提炼了人工布置规划经验的情况下，开发了了基地布置的模型和算法。最终以需求覆盖比例为指标，从数据的角度客观的进行随国产/进口机型比例变化而实现最优化的机场布置，并对四种国产/进口比例下的布置方案结果进行了分析。

机型布置规划阶段建立在基地布置情况基础上，通过布置使得全国各地飞机覆盖架数都达到 10-15 架次，布置过程通过 Anylogic 仿真平台进行基于规则仿真推演，仿真推演的结果即作为最后的布置建议规划方案。

附录五：国产/进口=0.4 情况下的布置建议⁶²

清丰县 ⁶²	M171 1 架, AC313 1 架 ⁶²
孝义市 ⁶²	M8 1 架, K32 1 架, BL407 1 架, M171 1 架 ⁶²
文水县 ⁶²	AS350 1 架, K32 1 架, BL407 1 架, M171 1 架, SA365N 1 架, AC352 2 架 ⁶²
涉县 ⁶²	Z8 3 架, BL407 1 架, AC313 1 架 ⁶²
巫山县 ⁶²	Z8 1 架, K32 1 架, KMAX 1 架 ⁶²
点军区 ⁶²	AS350 1 架, K32 4 架, M171 4 架, AC313 2 架, AC352 1 架 ⁶²
武当山 ⁶²	M171 1 架 ⁶²
夷陵区 ⁶²	M8 1 架, Z8 1 架, K32 2 架, M171 1 架, AC352 2 架 ⁶²
富阳区 ⁶²	AS350 1 架, K32 1 架, BL407 2 架, M171 1 架 ⁶²
张家港市 ⁶²	AS350 2 架, K32 2 架, M171 1 架 ⁶²
平湖市 ⁶²	M171 2 架 ⁶²
南阳 ⁶²	Z8 1 架, K32 2 架, Z9 2 架, AC352 1 架 ⁶²
淅川县 ⁶²	AS350 1 架, Z8 1 架, M171 1 架 ⁶²
洛阳 ⁶²	K32 2 架, KMAX 1 架, AC352 1 架 ⁶²
仙居县 ⁶²	AS350 1 架, Z8 1 架 ⁶²
临海市 ⁶²	AS350 1 架, K32 1 架 ⁶²
延川县 ⁶²	AS350 1 架, Z8 1 架, K32 1 架, BL407 1 架, M171 3 架, Z9 1 架, AC352 2 架 ⁶²
黄龙县 ⁶²	AS350 1 架, M8 1 架, K32 2 架, BL407 1 架, M171 5 架, Z9 1 架, KMAX 1 架, AC352 2 架 ⁶²
衡南县 ⁶²	BL412 1 架, Z9 2 架 ⁶²
崇义县 ⁶²	AS350 2 架, AC313 1 架, AC352 1 架 ⁶²
连平县 ⁶²	AS350 1 架 ⁶²
韶关 ⁶²	M171 1 架 ⁶²
营山县 ⁶²	AS350 2 架, Z9 2 架, AC352 1 架 ⁶²
万源市 ⁶²	K32 1 架, Z9 1 架 ⁶²
万州 ⁶²	AS350 2 架, M171 1 架 ⁶²
青羊区 ⁶²	M171 3 架, AS332L 1 架, AC313 1 架 ⁶²
阆中市 ⁶²	AS350 2 架 ⁶²
陇南市 ⁶²	AS350 2 架, M8 1 架, K32 3 架, BL407 1 架, M171 3 架, AS332L 1 架, AC313 2 架, AC352 1 架 ⁶²
咸宁 ⁶²	Z8 2 架, K32 2 架 ⁶²

图 3 系统部分布置建议列表

2.1.4 研究成果

基于 Anylogic 软件完成面向航空应急救援力量布局规划仿真系统开发，完成航空应急救援机队数量论证模块、森林灭火航空撒水需求论证模块以及基地机型自动化布置模块的子系统开发。在每个模块中任务想定界面实现想定信息的输入与 Anylogic 的对接；推演仿真界面实现基于不同规则约束下的可视化仿真；GIS 地图界面实现推演仿真过程的可视化呈现，最终得到了以下四种最优布置方案：

对于全国产机型的布置情况，需要新增布置约 56~70 个基地，最终选择新增 65 个基地的一种方案。需要新增布置约 714~800 架直升机，最终选择新增 758 架直升机的方案。

对于国产/进口=0.4 的布置情况，需要新增布置约 100~120 个基地，最终选择新增 112 个基地的一种方案。需要新增布置约 916~1078 架直升机，最终选择新增 1006 架直升机的方案。

对于国产/进口=0.2 的布置情况，需要新增布置约 115~138 个基地，最终选择新增 128 个基地的一种方案。需要新增布置约 924~1016 架直升机，最终选择新增 969 架直升机的方案。

对于全进口机型的布置情况，需要新增布置约 153~165 个基地，最终选择新增 160 个基地的一种方案。需要新增布置约 850~948 架直升机，最终选择新增 906 架直升机的方案。

2.2 航空应急救援体系顶层设计

2.2.1. 森林火灾救援机队数量论证

2.2.1.1. 项目简介

围绕我国航空应急救援体系中日益增强的关于航空基地点的选址研究以及救援力量合理部署的需求，对我国森林火灾等灾害的需求分布进行了研究分析，并且结合直升机的性能和任务剖面，给出了现有布置下的全国自然灾害需求分布。以需求为基础，制定基地选址基本规则，以一定覆盖率为指标，构造基地布置模型，开发基地机型自动化布置仿真推演系统，给出不同比例下的基地布置可能范围及最优布置方案，构建机型布置模型并仿真推演，给出不同比例方案下的机型补充可能范围，以及最优的布置方案。

2.2.1.2. 研究成果



图 4 预计基地分布及覆盖范围（按照每个基地 125km 管控半径）

按照《全国森林防火规划（2016-2025）年》总体部署，我国在现有的分布

森林火灾高风险地区的 48 个航空护林站基础上，计划新建全功能航空护林站 25 个、依托民航机场建设航空护林站 5 个，届时我国航空护林站将达到 80 余个。顶层设计阶段以现有的 90 架航空器总数为例，平均每个航站拥有直升机 1 架。通过建模仿真推演计算得到目前可实现，现有基地的直升机在 1.5-2 小时内可对最远距离的受灾地点进行两次人员投送，运输救援人员 52 人。为实现 1.5-2 小时内投送 300 人尖刀队伍的要求，需要提升直升机运力 5.77 倍，所需直升机总数为 520 架。

表 1 目前面向森林灭火的应急救援数及计算得到需求结果

现有基地数	现有直升机总数	基地平均直升机数	直升机平均速度	直升机平均载人数	受灾点距离基地的距离	单架直升机 1.5 小时完成投送次数	1.5 小时总投送人员数	能力缺口倍数	所需直升机数量
80	90	1 架	250km/h	26	125km	2	52	5.77	520

2.2.2. 森林灭火航空撒水需求论证

2.2.2.1. 项目简介

围绕我国现有航空护林站及森林火灾高风险地区间相互跨度大和距离远的现状，参照全国航空护林站数量计划和现有航空器总数，面向短时间内对受灾地点投送尖刀队伍的要求，分析直升机运力提升需求和装备编队架次需求，明确半小时接续梯队灭火目的，构建航空器智能体逻辑，通过构建模型并推演仿真进行面向森林灭火航空洒水需求的航空应急救援机队数量的论证。

2.2.2.2. 研究成果

围绕我国森林火灾重点火险区主要分布在东北内蒙古和西南林区的情况，以 1 小时内集结 3 架飞机，为防止“前灭后燃”，实施半小时接续梯队灭火（一个批次 3 架机同时作业，实现每半小时一个批次持续覆盖）为目标，通过构建推演模型并按合理智能体逻辑约束进行仿真，分别计算每个航站配备 2 或 3 批次情况，分析计算管控范围，建议一个航站配备 3 个批次（即 9 架机），应需要 36 架大型固定翼灭火机满足我国重点林区航空救援需求。其中，东北内蒙古林区约需 2 个航站共配备 18 架固定翼飞机，西南林区约需 2 个航站共配备 18 架固定翼飞机。

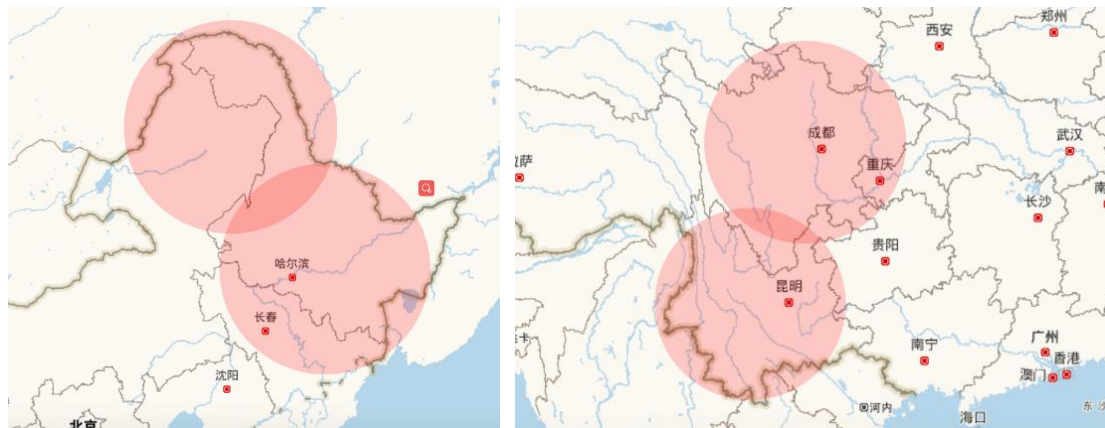


图 5 东北内蒙古林区，西南林区各航站管控范围图（管控半径 400 公里）

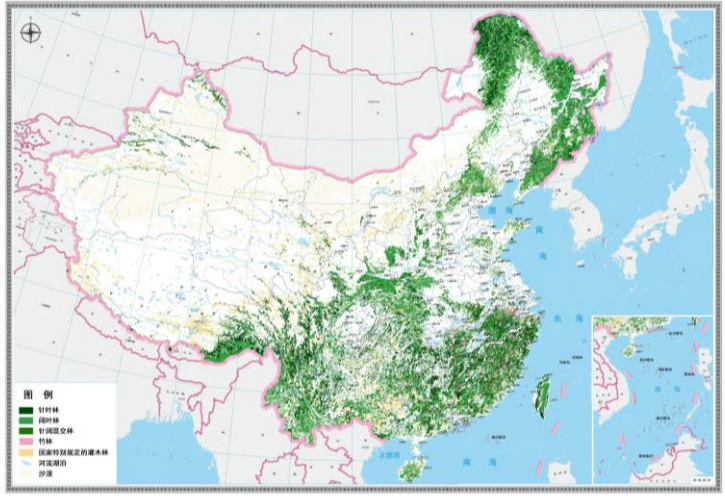


图 6 参考全国森林资源分布图（来源：《全国森林防火规划（2016-2025）年》）

2.3 冬季运动航空医疗救援体系仿真

2.3.1 项目简介

冬季运动航空医疗救援体系仿真平台由北京航空航天大学、北京开云互动科技有限公司联合开发，北京市红十字会急诊抢救中心（即 999 急救中心，2022 年冬奥会直升机医疗救援服务商）提供指导与支持。实验内容分为航空医疗救援场景与任务探究和航空医疗救援体系设计与优选两个阶段。

通过体系仿真平台的搭建，帮助用户进入虚拟场景进行相关环境与了解航空医疗救援设备设施，实现以第一第三人称视角操作直升机完成医疗救援任务并进行于任务的航空医疗救援机组角色体验探究和航空医疗救援力量方案构建，完成基于仿真输出的仿真推演报告对直升机性能在航空救援中影响的评估，并对航空医疗救援体系任务进行仿真过程复现。

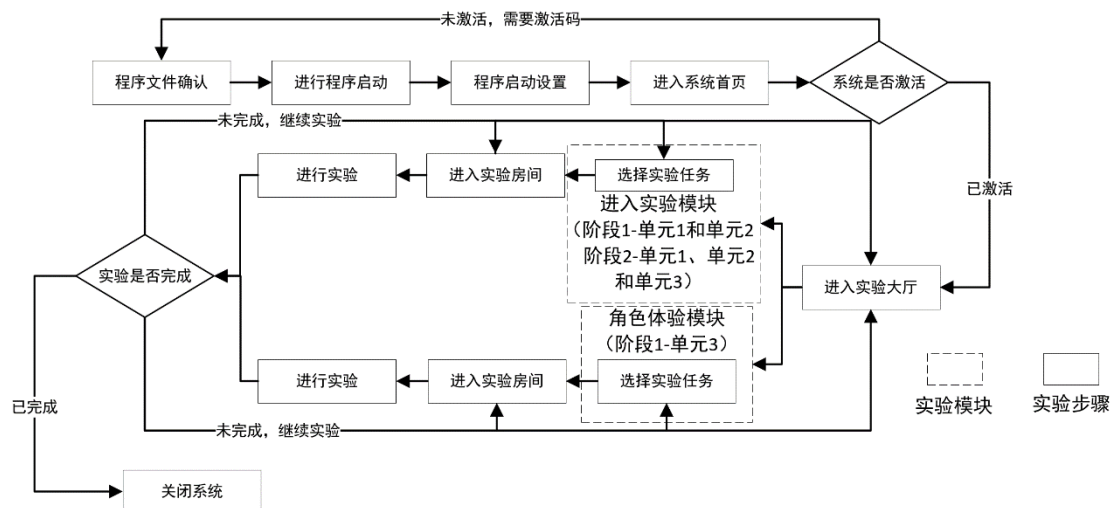


图 7 总流程图



图 8 航空医疗救援体系探究与设计虚拟仿真实验系统首页

2.3.2 研究目标

开发航空医疗救援体系仿真实验系统，围绕我国航空医疗救援体系现有建设，实现对多条件约束的情况下和冬季运动背景下的航空医疗救援体系设计预案的仿真推演，通过起降点的选择、直升机的部署等进行体系方案的设计，实现对不同方案应对流程和任务的评估。在冬季运动医疗的实际救援中提供辅助决策的意义和价值。

2.3.3 研究方法

基于 Unity 和 VS code 软件（系统开发平台），开发航空医疗救援体系仿真实验系统。将实验系统划分为航空医疗救援场景与任务探究和航空医疗救援体系设计与优选两个阶段和对应的六个子单元。

其中，航空医疗救援场景与任务探究下分场景漫游与航空医疗救援体系认知、直升机医疗救援任务驾驶仿真和基于任务的航空医疗救援机组角色体验探究三个子单元；航空医疗救援体系设计与优选下分体系方案设计与推演、多方案对比与优选和优选方案参数权衡研究三个子单元。针对每个子单元建设方便用

户认知的虚拟场景或制定相关任务想定和推演仿真逻辑，实现用户端构建航空医疗救援力量方案、进行仿真推演并实现多方案对比优选。

针对同一任务背景实现多方案的仿真推演并进行方案优选；针对同一方案背景实现不同性能参数下的仿真推演进而研究参数权衡。通过输出的仿真推演报告进行不同航空医疗救援力量方案的比较和优选，实现直升机性能对航空医疗救援影响的评估，在实际航空医疗救援中起到辅助决策和方案参考。

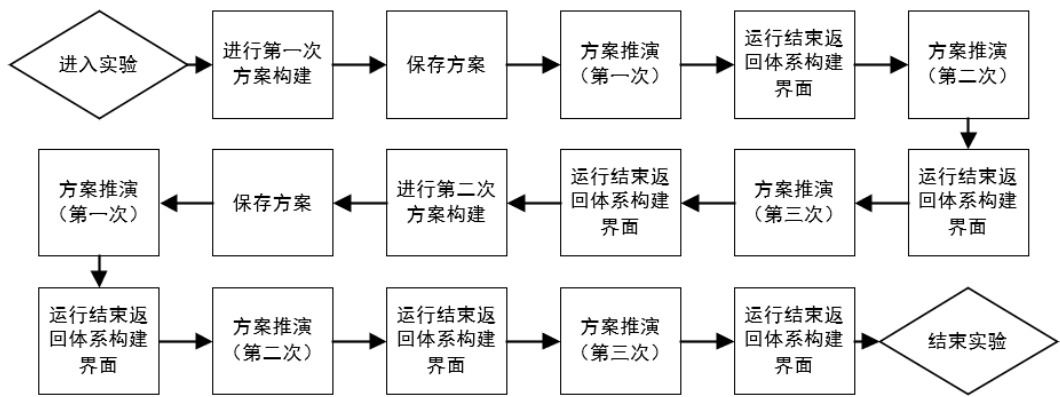


图 9 多方案对比分析与优选操作流程

2.3.4 研究成果



图 10 装备布置面板

完成航空医疗救援体系仿真实验系统的双阶段多单元的开发，以实验任务推演仿真的形式，实现用户从虚拟场景认知、虚拟现实操作、体系方案设计到多

方案构建与推演的完整体系探究与设计流程。通过鼠标和键盘操作，实现全局视角或自由视角下的场景漫游寻看和直升机性能认知；通过不同医疗救援直升机行为逻辑图想定，实现索降或降落救治伤员和伤员转运等直升机医疗救援流程；通过第一人称和第三人称不同相机视角直升机操控，实现直升机医疗救援任务驾驶仿真流程；以任务总耗时和伤员人数为评估指标，基于直升机智能体逻辑和仿真推演约束制定合理评分细则，实现构建方案推演结束后所输出的仿真推演报告中评估模块和参数权衡研究模块的功能输出。通过推演报告展示航空医疗救援体系仿真实验系统各模块的功能实现量化结果，对于航空应急救援体系研究提供参考价值。

体系方案1仿真推演报告

团队：BUAA1

第1轮仿真推演

仿真过程：

00:00:00 云顶伤员B请求救援！
00:00:00 H155 B-7141前往救援云顶伤员B。
00:02:21 云顶伤员A请求救援！
00:02:21 H155 B-7142前往救援云顶伤员A。
00:03:10 H155 B-7141到达云顶伤员B。
00:03:40 H155 B-7141到达事故地点，开始救援云顶伤员B。
00:04:40 北欧伤员A请求救援！
00:04:40 EC135 B-7169前往救援北欧伤员A。
00:05:36 H155 B-7142到达云顶伤员A。
00:06:06 H155 B-7142到达事故地点，开始救援云顶伤员A。
00:06:10 H155 B-7141救援完成，开始转往云顶山救护站
00:07:19 H155 B-7141到达云顶山救护站。
00:08:55 EC135 B-7169到达北欧伤员A。
00:08:55 EC135 B-7169到达事故地点，开始救援北欧伤员A。
00:10:19 H155 B-7141伤员交接完成，返回临时机库二
00:10:19 云顶山救护站检伤完成，伤情较轻，云顶伤员B已处理完毕。
00:10:26 H155 B-7142救援完成，开始转往云顶山救护站
00:11:35 H155 B-7142到达云顶山救护站。
00:11:55 EC135 B-7169救援完成，开始转往北欧救护站
00:12:52 H155 B-7141到达临时机库二。
00:14:34 H155 B-7142伤员交接完成，返回临时机库二
00:14:35 云顶山救护站检伤完成，伤情较轻，云顶伤员A已处理完毕。
00:15:05 EC135 B-7169到达北欧救护站。
00:16:05 北欧救护站检伤完成，伤情较轻，北欧伤员A已处理完毕。
00:16:05 任务结束！

体系设计方案：

机库	临时机库一	临时机库二	临时机库三	临时机库四	临时机库五
机型		H155 B-7141		EC135 B-7169	
机型		H155 B-7142			

伤员及救援情况：

ID	伤员	救援机型	救援等待	救援耗时	转运机型	转运等待	转运耗时	总耗时
1	云顶伤员B	H155 B-7141	-	00:10:19	-	-	-	00:10:19
2	云顶伤员A	H155 B-7142	-	00:12:14	-	-	-	00:12:14
3	北欧伤员A	EC135 B-7169	-	00:11:25	-	-	-	00:11:25

任务总耗时：00:16:05

图 11 仿真推演报告文档示例

3 航空应急救援体系辅助决策平台

3.1 面向洪涝灾害的航空应急救援调度策略仿真推演

3.1.1 项目简介

通过对历年洪涝灾害的实际案例和我国现有航空应急救援力量情况与需求的调研，针对 2020 年长江中游地区特大暴雨情况制定洪涝灾害案例想定，包括航空应急力量想定和洪涝灾害险情想定。

对应航空应急力量数据库的设想，进行航空应急力量分布、各出救点机场的保障能力、各型号可用航空应急救援装备的性能等等想定要素的设计；对应洪涝灾害险情数据库的设想，进行险情任务位置、当前降水强度、次生灾害发生可能性等等想定要素的设计，将航空应急力量想定要素写入航空应急力量数据库中，将洪涝灾害险情想定要素写入洪涝灾害险情数据库中，以 Excel 文件形式储存。

基于 Anylogic 软件（系统开发平台）开发面向洪涝灾害的航空应急救援仿真推演系统平台，仿真推演系统平台通过直升机和集结点两仿真智能体，进行系统实现下推演规则与行为逻辑约束的可视化推演。实现对应任务想定下，不同部署方案的 GISMAP 可视化呈现和救援规划调度，并以一定的评估指标生成方案评估报告，实现不同部署方案的优劣比较，为基于实际情况的洪涝灾情想定给出一定的指挥调度参考。



图 12 面向洪涝灾害的航空应急救援调度系统界面

3.1.2 研究目标

针对我国洪涝灾害险情下的国家航空应急力量调度指挥策略需求，围绕现有航空应急力量的救援规划与调度问题，通过洪涝灾害险情态势的快速构建、航空应急力量能力建模、任务推演仿真、综合效能评估等研究，开发面向洪涝灾害的航空应急力量调度指挥仿真推演系统，实现洪涝灾害突发险情的航空应急力量精准调度与指挥提供一定的参考。

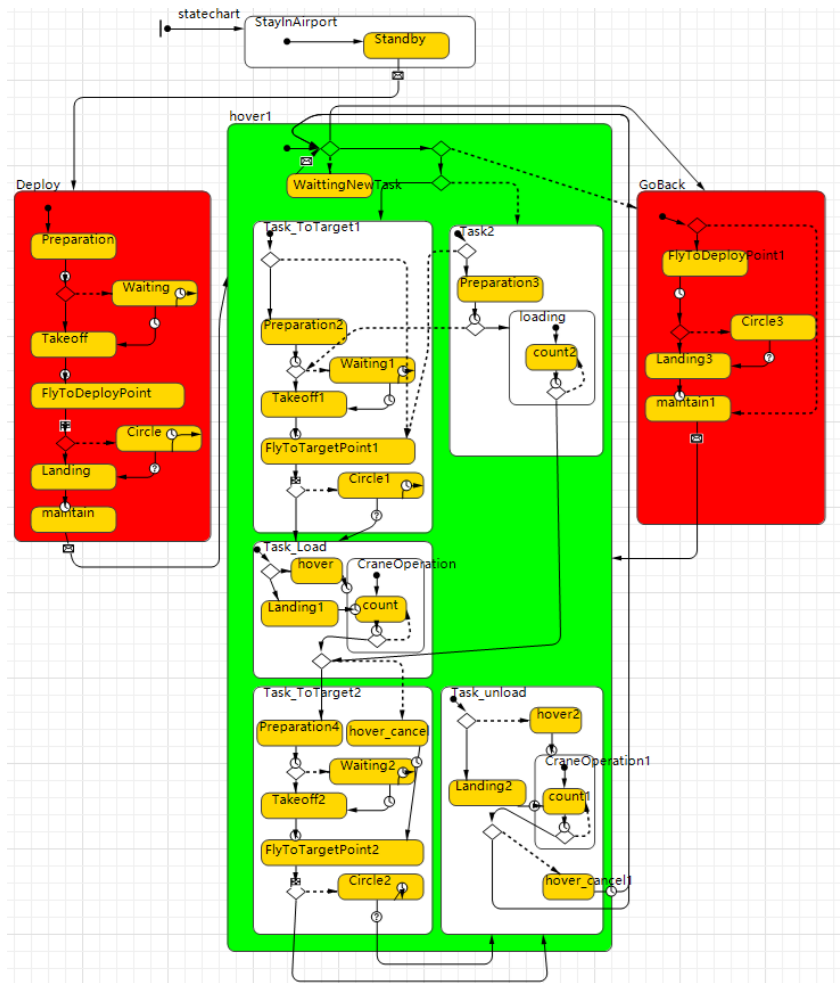


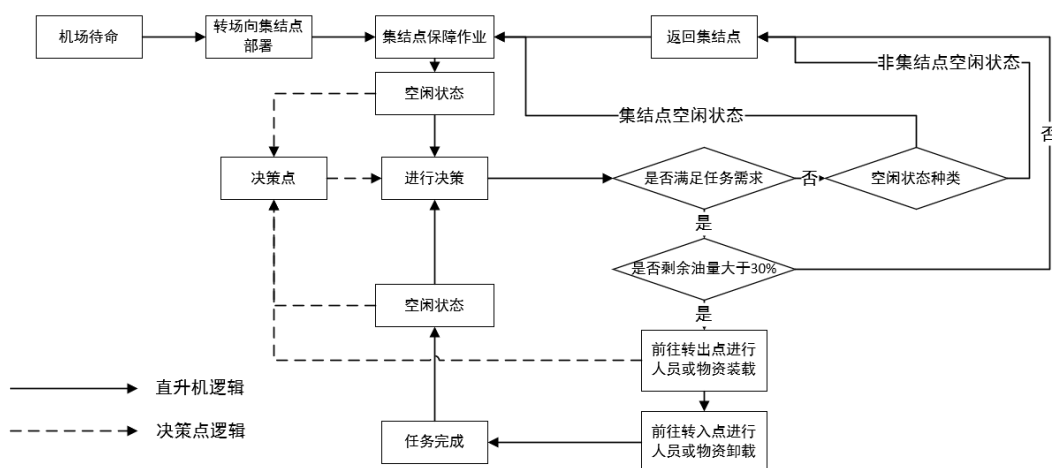
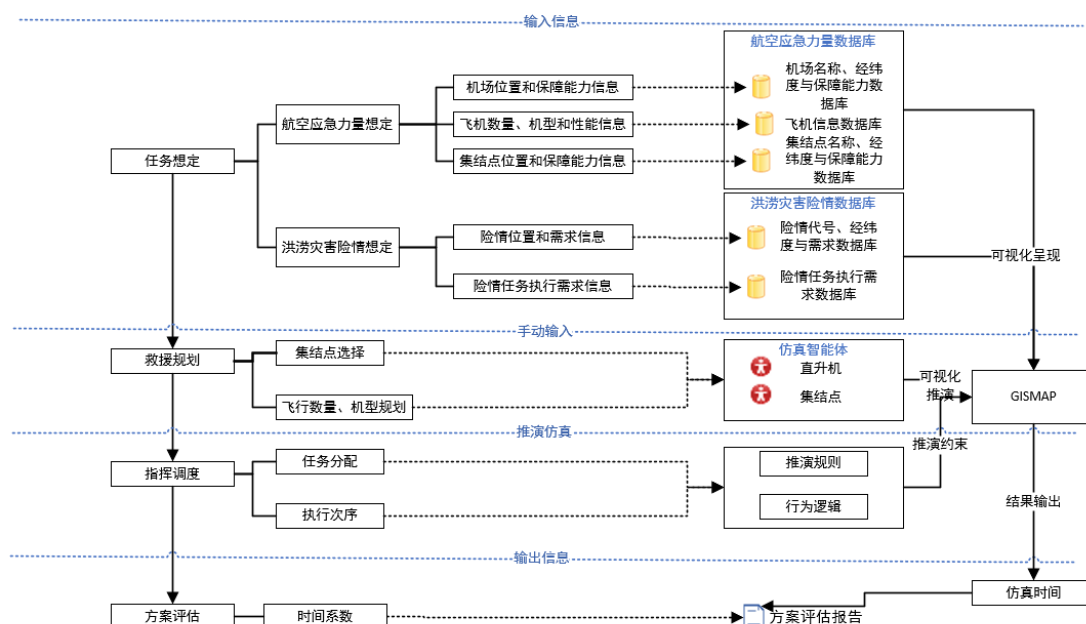
图 13 系统开发拟实现飞行器智能体状态迁移图

3.1.3 研究方法

面对相关洪涝灾害险情和实际救援需求，通过查阅相关资料和历史背景，制定了具体的航空应急力量想定和洪涝灾害险情想定信息，完善航空应急力量数据库和洪涝灾害险情数据库，并基于 Anylogic 软件（系统开发平台）运行读取进行 GISMAP 可视化呈现，通过量化的想定要素形式使用。

考虑面向洪涝灾害的航空应急救援调度指挥策略需求，和现有实际航空应急救援力量情况，将指挥调度问题拆分为部署设置与任务调度两部分，分别在所完成的推演仿真系统的部署设置界面和推演仿真界面中完成，并围绕现有航空应急力量的指挥调度问题进行了面向洪涝灾害的航空应急救援调度规则研究。部署设置界面支持用户手动设置部署方案，推演仿真界面按照任务调度的规则

进行仿真。其中, 指挥调度部分为人工设置。在用户完成部署方案设置后, 在任务调度的规则约束下进行系统仿真, 验证航空器逻辑和调度规则并实现。



3.1.4 研究成果

基于 Anylogic 软件完成面向洪涝灾害的航空应急救援调度仿真推演系统开发，完成任务想定界面，部署设置界面，推演仿真界面，方案评估界面和 GIS 地图界面五部分开发。任务想定界面实现想定信息与 Anylogic 的对接；部署设置界面实现用户手动设置部署方案功能；推演仿真界面实现基于任务调度规则的推演约束下的可视化仿真；方案评估界面实现方案评估和方案优劣比较；GIS 地图界面实现推演仿真过程的可视化呈现。

并围绕航空应急救援调度指挥策略需求，制定面向洪涝灾害的航空应急救援调度指挥逻辑设定与规则。利用系统开发平台进行逻辑验证与实现，并在仿真智能体可视化推演中完成推演约束功能，进而实现完整可视化推演。

3.2 海上应急处置决策支持技术研究

3.2.1 项目简介

为深入分析各种海上应急任务模式和建立科学高效的应急处置决策支持系统，促进国产民用直升机/通用飞机在海上应急体系中得到更多更好的应用，本项目主要面向海上应急体系建设的国家重大需求，研究民用直升机/通用飞机的应急任务模式和应急处置决策支持技术，建立作为支撑手段的软件系统，提高执行海上应急任务时的安全性和任务效能。

本项目通过对民用直升机/通用飞机的应急任务模式和应急处置决策支持技术研究，形成了一套直升机/通用飞机海上应急任务模式，并且基于仿真与效能评估技术开发了直升机/通用飞机海上应急处置决策支持系统，并经过了初步的应用验证。



图 16 海上应急处置决策支持系统

项目研究过程中取得的成果得到了国家应急管理部森林消防局航空处和军事科学院后勤科学技术研究所的认可，并提出了国家应急管理部森林消防局对于我国南方地区夏季防洪救灾航空应急救援指挥调度策略的研究需求，从资金上对项目的可持续研究予以支持。

3.2.2 研究目标

针对海上突发事件应急处置对国产直升机/通用飞机的需求，开展对海上突发事件与海上应急体系的系统性研究，形成规范的直升机/通用飞机海上应急任务模式、基于仿真与效能评估技术并经过应用验证的直升机/通用飞机海上应急处置决策支持系统等研究成果，使得制造商能够结合自己的机型和使用方的机队等多种因素，针对典型突发事件预先制定出系列的处置方案，作为运行支持的服务提供给使用方；使得使用方完善处置方案库，更高效利用方案辅助决策，提高运用国产机型的安全性与效能，为国产机队更多更好的纳入海上应急体系奠定基础。

具体地，海上应急处置决策支持技术研究内容细分为以下七点：

- 1) 典型海上突发事件类型与航空应急处置需求研究；
- 2) 直升机/通用飞机海上应急任务模式分析与建模技术研究；
- 3) 直升机/通用飞机海上应急处置方案评价指标与分析方法研究；

- 4) 基于仿真与效能评估的直升机/通用飞机海上应急处置方案制定技术研究；
- 5) 直升机/通用飞机海上应急体系化运用与布局技术研究；
- 6) 直升机/通用飞机海上应急处置决策支持系统研究；
- 7) 基于典型直升机/通用飞机型号数据的系统应用验证。

3.2.3 研究方法

在项目研究过程中，本项目采用“基础研究-系统开发-应用验证”的技术路线开展研究。

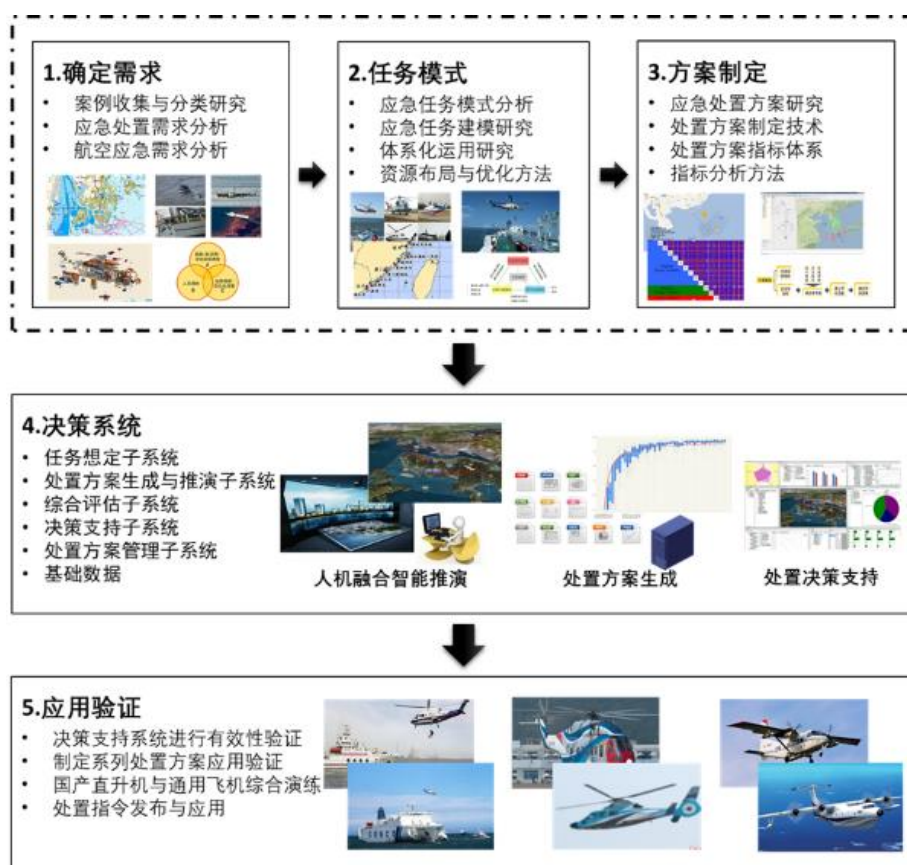


图 17 海上应急处置决策支持技术路线图

在基础研究部分，本项目进行了典型海上突发事件类型与航空应急处置需求研究与直升机/通用飞机海上应急任务模式分析与建模技术研究，首先通过对国内外典型海上突发事件案例的整理与统计分析，从保障、装备、决策等层面提

出海上应急处置需求；之后展开海上应急任务模式分析与突发事件、海洋环境、应急力量等基本要素的建模研究，解决了海上突发事件建模技术与直升机/通用飞机海上应急体系化任务建模技术；在此基础上，针对体系层面的海上应急体系化运用、应急资源布局与优化等进行研究，提出海上应急体系化运用需求与建议，并指导系统开发工作；最后开展了处置方案制定技术与海上应急处置方案评价指标与分析方法研究，进行了直升机/通用飞机海上应急任务多机规划技术和人机融合智能仿真推演技术的攻关。

在基础研究成果的支撑下，项目组开展了直升机/通用飞机海上应急处置决策支持系统的开发。系统包括任务想定子系统、处置方案生成与推演子系统、综合评估子系统、决策支持子系统、处置方案管理子系统等部分，实现想定输入、方案制定、仿真推演、综合评估、决策支持等功能，为实际海上应急处置过程提供支撑，提高任务执行安全性与任务效能。

在应用验证部分，项目组通过基于实际海上应急任务和演练的系统验证、基于典型国产直升机/通用飞机的系统方案制定应用验证及基于多机型联合任务演练的决策支持系统验证，对海上应急处置决策支持系统的有效性及其处置方案制定功能和处置决策支持功能进行了验证。

3.2.4 研究成果

依据批复任务书中要求的研究内容，本项目针对五个研究专题展开系统性的研究，突破了四项关键技术，并实现若干技术创新，填补了国内在海上应急处置决策支持领域中多项空白，形成 12 篇技术研究报告、10 篇论文、2 套软件、5 篇专利、3 篇软件著作权，研究成果满足研究内容要求与技术指标要求，且经实际应用验证，能够有效满足国产直升机与通用飞机制造单位及使用单位需求，并具备广泛的应用前景。

3.3 930 水难特种救援演习应急处置预案仿真

3.3.1 项目简介

随着我国水面交通与桥梁建设的不断拓展，大型人员伤亡事件、大规模水域污染事故屡有发生。我国在水域救援领域尚处于探索阶段，由于学科较新且救援难度大，目前尚未摸索出切实有效的救援体系。此次 930 水难特种救援演习旨在通过新装备和专业技术，模拟大巴车与船只共同落水事故现场，制定救援预案和响应阶段，进一步提升水域救援能力，更好地普及水域安全知识，让社会组织救援力量更好地协助政府，成为当地救援的可靠力量。



图 18 水难特种救援相关图片



图 19 公羊救援队

3.3.2 研究目标

我国在水域救援领域尚处于探索阶段，由于学科较新且救援难度大，目前尚未摸索出切实有效的救援体系。通过此次 930 水难特种救援演习，联合杭州市港航行政执法队淳安大队对事发区域进行航道管控以及水域表面油污拦截，联合淳安县应急管理局向公羊救援队指挥中心发送增派专业力量的救援指令。按照救援演习方案想定和救援预案响应阶段规划，运用二维人形声呐、航空应急救援 VR 决策支持系统等新装备和新技术，完成沉船幸存者救援、水下油漏封堵、沉车打捞等水域应急救援需求，进一步提升水域救援能力，熟练直升机在水域特种救援中的应用，更好地普及水域安全知识，协调社会救援力量与政府救援力量，摸索切实可行的水域救援体系。

3.3.3 研究方法

根据我国水域应急救援领域背景、现有装备技术和社会组织救援力量，指定 2020 年 9 月 30 日中巴车落水后撞击船只并共同沉湖的模拟救援演习方案，制定杭州市淳安县执法队、应急管理局和公羊救援队协同专业救援方案。划分目标搜索定位、沉船幸存者救援、水下油漏封堵和沉车打捞四个救援阶段。

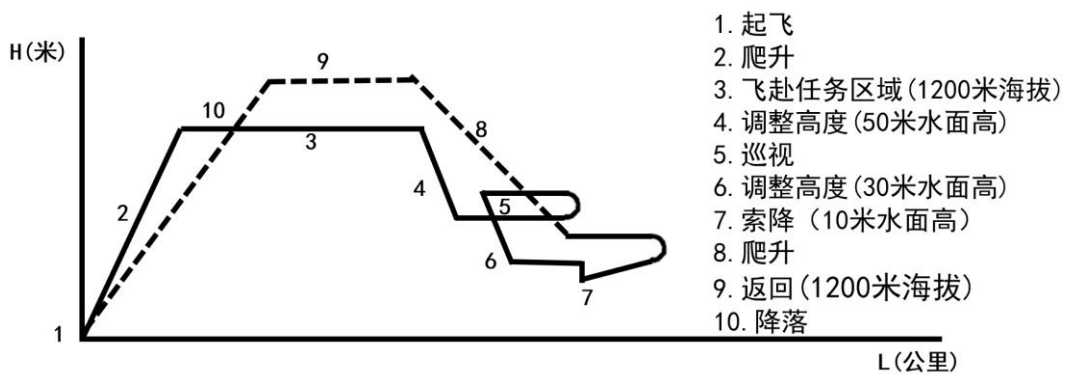


图 20 930 水域特种救援任务剖面

3.3.4 研究成果

通过实地调研考察和专业救援团队与应急管理局协助，确认航空应急救援中的直升机具体参数和实际航空应急救援指挥设计流程中的伤员交接时间等任务参数，为航空应急救援体系调度策略提供实际向理论的指导。探究水域应急救援预案的可行性与优劣，向社会普及水域安全知识的同时，指导水域航空应急救援方案，借助实际救援，协调社会组织与当地应急管理局的力量配合。



图 21 930 水域特种救援演习

3.4 航空应急救援体系设计与运用虚拟仿真竞赛系统

3.4.1 项目简介

航空应急救援体系设计与运用虚拟仿真竞赛系统基于体系设计评估的基本流程，在系统使用过程中，用户需要根据给定的航空应急救援任务想定，针对航

空应急救援体系任务需求完成装备配置、力量部署、任务规划等工作，设计多机型联合运用的搜救体系方案并进行推演、评估和决策。

仿真竞赛系统以浙江省台风灾害救援为背景，以第七届全国大学生工程训练综合能力竞赛虚拟仿真赛道飞行器设计仿真赛项为平台，通过参赛学生针对不同具体案例的部署和相关操作、方案评估和赛项评分细则等大量数据辅助分析，以在面向台风灾害的实际航空救援方面提供一定的参考意义。



图 22 航空应急救援体系设计与运用虚拟仿真竞赛系统

3.4.2 研究目标

2019 年浙江“利奇马”台风对浙江造成较大影响，受灾人数和转移安置灾民人数较多，房屋和农作物受灾损失较大。适逢第七届全国大学生工训赛虚拟仿真赛道竞赛机会，基于 Unity 和 VS code 平台开发设计航空应急救援体系设计与运用虚拟仿真竞赛系统平台，根据真实浙江“利奇马”台风数据修改指定不同应急响应级别的任务想定，设计校赛、省赛和国赛不同级别的体系选拔赛，为全国参赛学生提供虚拟仿真比赛平台；通过基于合理评分细则下的优秀案例，结合贴近真实案例的想定背景，为实际台风灾害下的航空应急救援的机型选择、方案部署、

调度策略和成本效率提供一定的参考价值，为指导实际台风灾害航空救援提供一定的指导价值。

3.4.3 研究方法

围绕现有的面向台风灾害下的航空应急救援调度问题和现状，参考 2035 年末全省通用机场布局示意图、浙江四个省级救灾物资代储库位置、有直升机起落条件医院等因素，完成浙江省台风灾害灾情想定信息库。通过对我国航空应急救援力量中不同直升机的性能参数和飞行成本的调研，完成航空应急救援力量信息库。

软件开发人员基于浙江省地图信息、灾情想定信息库和航空应急救援力量信息库，开发大规模机队的台风灾害航空应急救援仿真竞赛系统，通过多批次测试优化完善。

制定详细完善的《航空应急救援体系设计与运用虚拟仿真竞赛系统使用手册》，并在使用手册中介绍系统的操作逻辑和各部分的操作说明，附录部分给出了系统中使用的各救援机型的主要参数及评分细则，供用户参考。发布竞赛安排后，按批次组织校级、省级和国家级选拔赛，收集输出的高分推演报告。基于高分推演报告，提出成本型、效益型和效率型三种类型的指导方案，在缩短实际救援总耗时、降低救援整体成本消耗和考虑任务优先级下综合最优三个方面，对实际救援提供三个方面的指导建议。



图 23 系统整体操作逻辑

3.4.4 研究成果

完成航空应急救援体系设计与运用虚拟仿真竞赛系统的开发和测试，成功

组织完成第七届全国大学生工训赛虚拟仿真赛道的校级选拔赛和省级体系设计选拔赛，并如期组织发布虚拟仿真赛道国赛任务。划分民机赛道和军机赛道两大体系设计赛道，吸引了 24 个省市自治区 109 所高校的 415 支队伍报名参赛，输出百余份推演报告，赛项影响辐射全国高校。

[illegible]

图 24 推演报告示例

4 航空应急救援训练系统

4.1 项目简介

围绕我国应急救援体系发展迅速和航空应急救援机组人员协同任务训练需求越来越广泛的背景,和直升机应急救援任务实际飞行训练成本高昂、危险性大、以及灾害及救援环境难以复现、无法实飞训练的难题,面向森林灭火、医疗救援、地震搜救、山区救援、海上搜救等各航空应急救援领域,提供包括场景构建和协同训练方案的航空应急救援协同训练系统,构建仿真训练环境,并对机组人员的表现和能力进行评估。



图 25 航空应急救援系统展示

航空应急救援协同训练系统是北京开云互动科技有限公司与北京航空航天大学共同合作研发的面向航空应急救援的开放式虚拟现实协同训练仿真系统。

协同训练虚拟现实仿真系统采用组件化编辑方法，快速构建面向森林灭火、医疗救援、地震搜救、山区救援、海上搜救等各种航空应急救援的虚拟场景，完整构建面向飞行员和救援人员协同的多人多机模拟航空应急救援任务过程，并实现面向教员的实时任务过程评估及训练数据分析评价。

航空应急救援协同训练系统具有多任务、协同化、低成本的特点，在机组资源管理、程序训练、教学评估等方面应用前景广阔，目前已在多个复杂航空应急救援项目中得到应用。

4.2 研究目标

现有的飞行模拟器材以飞行技能训练为主，迫切需要能对各种类型、不同等级的突发事件中的单机多人、多机多人、空地一体进行人员训练和联合演练的手段，破解“练不了”、“练不起”的难题。

该系统针对人员训练的需求，开展面向森林灭火、医疗救援、地震搜救、山

区救援、海上搜救等任务场景的航空应急救援虚拟协同训练系统研究。目标是形成组件化编辑方法，将典型航空应急救援任务要素（地形、环境、装备、角色、突发事件等）封装为独立的虚拟现实任务组件，利用这些组件快速构建出各类复杂的航空应急救援虚拟现实任务场景，用于飞行员、救援人员协同的多人多机模拟航空应急救援任务过程，并支持教员实时对任务过程进行评估及训练数据的分析评价。

具体地，航空应急救援训练系统研究内容细分为以下九点：

- 1) 理论训练科目研究
- 2) 虚拟仿真环境下的任务训练大纲研究
- 3) 应急救援任务虚拟训练场景想定研究
- 4) 任务环境模拟研究
- 5) 直升机机体模拟仿真技术研究
- 6) 直升机仪表模拟仿真技术研究
- 7) 直升机应急救援任务设备模拟仿真技术研究
- 8) 离散事件活动流模型的指标体系构建研究
- 9) 效能评估方法研究研究

4.3 研究方法

在项目研究过程中，本项目采用“环境建模-救援力量建模-训练程序研究-效能评估”的技术路线开展研究。

在环境建模阶段，将救援环境模拟与计算机图形学技术相结合，构建灾情模拟模型，达到灾情环境的逼真再现及环境的参数化可调。同时对不同任务环境的特点进行研究，分析训练中需要提供物理特性的环境物体及需要行为模型的人，将所需的算法集成到环境显示模块中，制作相应的三维模型，并采用图像引擎工

具来完成显示效果开发，最终将环境模块集成到系统中并提供设置的接口。

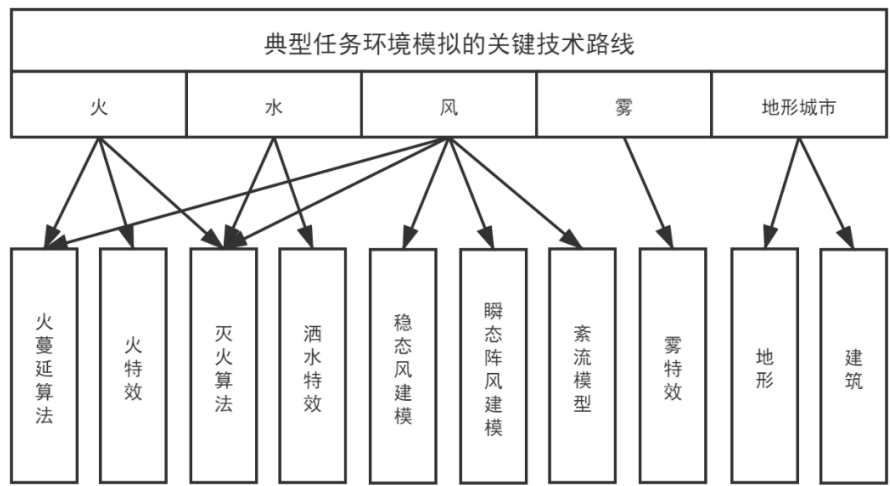


图 26 典型任务环境模拟总体技术路线

在救援设备建模部分，首先通过资料收集、整理、研究和工程简化等方法，建立了直升机救援任务设备的物理模型和数学模型，进行了可视化建模以及物理量模拟的编程实现，然后着眼于任务训练的目标，对物理模型和数学模型进行了合理的简化，减少了计算量的占用情况，最终重点展现了各个救援设备的应有功能和注意事项，满足实际训练应用的同时有效地提升了系统的可用性和实用性。

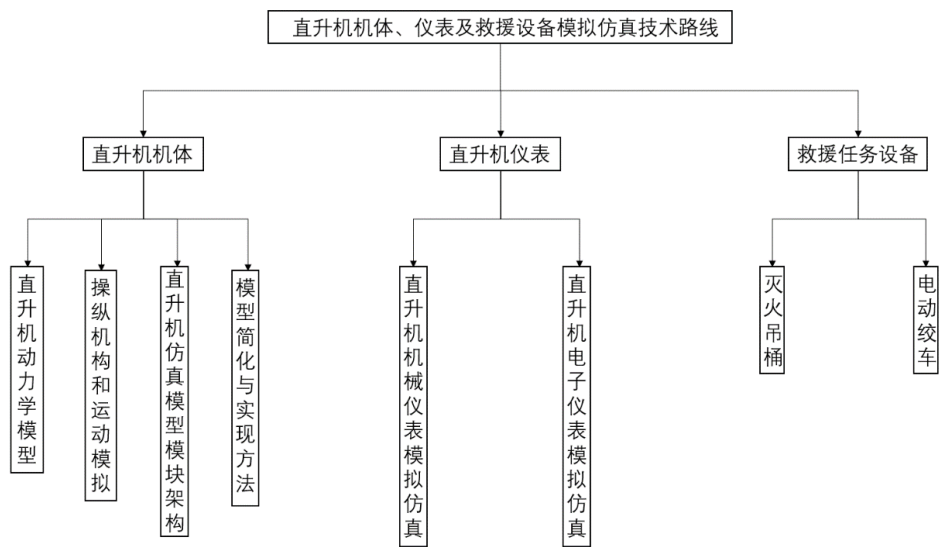


图 27 救援设备仿真路线图

在程序训练研究部分，首先基于各类应急救援任务训练的训练大纲，着重于

考察各类应急救援任务的训练点，形成能够仿真训练的完整流程。考虑到实时飞行仿真的过程对计算机带来了巨大的计算压力，因此该系统采用分布式系统仿真的方式，将数据处理和实景渲染等工作布置到分布式机组中实现，便能够实现高可行、高可用、高可靠的直升机应急救援任务仿真训练系统。然后通过模块化、组合式的软件与硬件设计，以协同仿真服务端为数据中转站，搭建机组训练环境，并通过综合程序训练模式和虚拟现实训练模式实现机组训练环境高逼真度的仿真场景，最终硬件系统通过通用化和模块化设计实现多机型的通用与扩展。

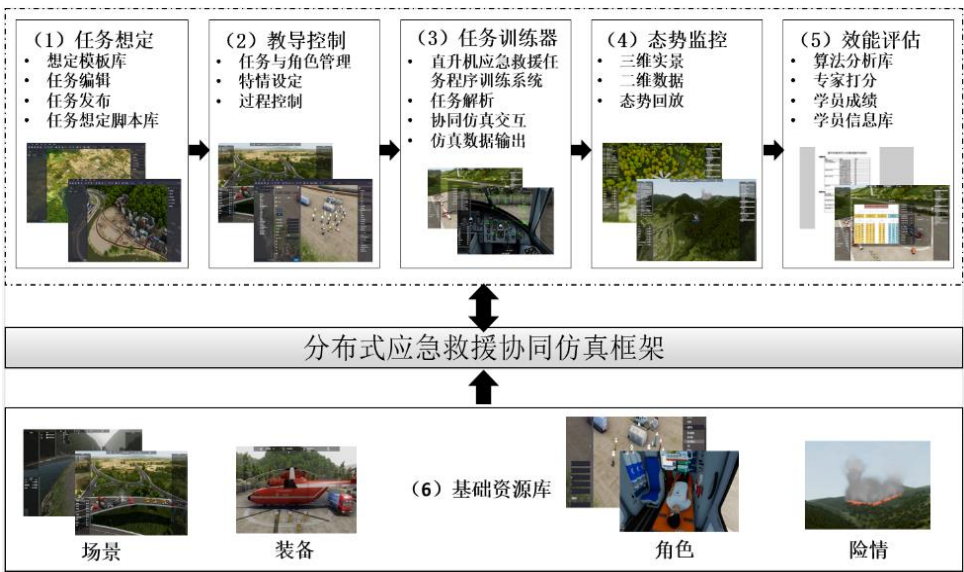


图 28 直升机应急救援任务程序训练系统框架

在效能评估研究部分，应急救援训练效能评估系统的研究包括指标体系的研究、效能值的计算方法研究和评估系统的开发与集成研究。首先基于典型应急救援任务程序，研究建立救援仿真协同训练效能评估指标体系以及效能计算标准模型，开发专家打分和系统自动评分相结合的训练效能评估子系统。接着针对虚拟仿真训练效能评估现状和不足，本研究建立了基于离散事件活动流的指标体系建立方法，以及基于网络分析法 ANP 的训练效能评估模型，利用专家系统和超级决策软件得到指标权重，最后利用模糊综合评判模型建立多指标性能参数的评定模型，将评判中多参数因子目标评判归结为单目标决策，实现评定结果

的定量化。此外针对团队任务的能力评估，提出 READ 评估模型，作为以上评估方法的进阶补充，以更好地对机组成员的任务能力进行评估。

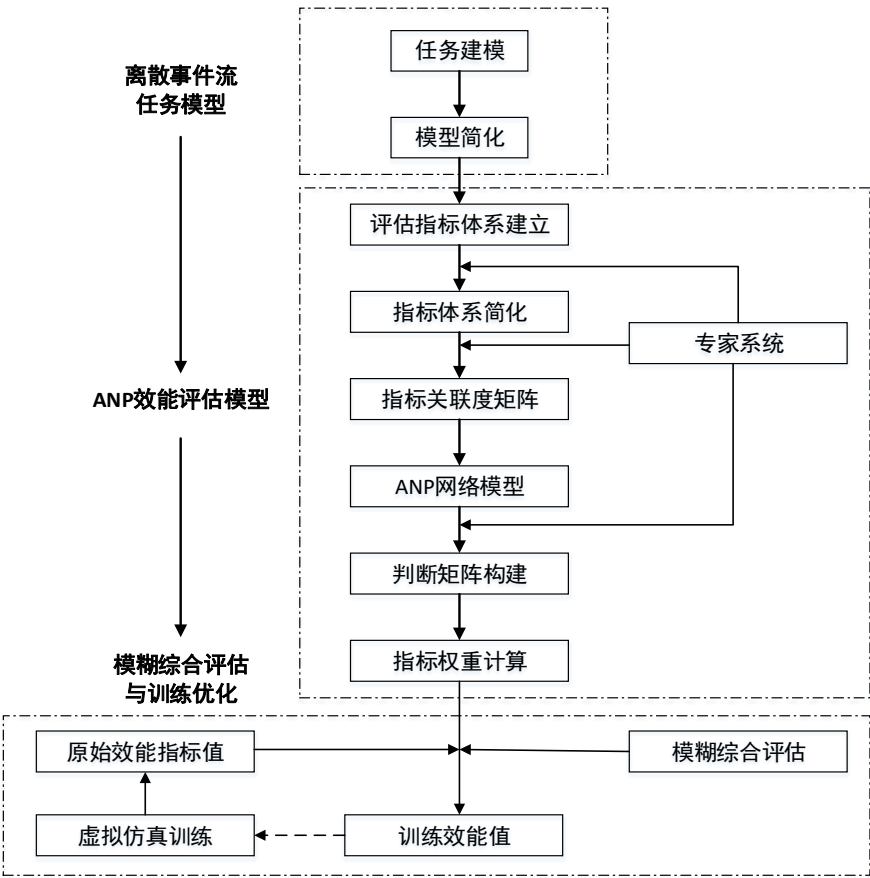


图 29 效能评估总体路线图

4.4 研究成果

经过多年的技术积累与研发，目前该系统已在北京市红十字会急诊抢救中心、四川华西医院、中国飞龙通航、海丰通航等一线救援单位得到了实际的应用，并用于国家卫生健康委员会医政医管局指导、中国医学救援协会主办的全国航空医疗救护专业培训班，收到了良好的反响。此外，团队与北京市红十字会急诊抢救中心联合成立了“航空医疗救援支持技术联合实验室”，建立了“航空医疗救援智能虚拟现实训练基地”，以进一步加强在航空医疗救援体系的科研与应用方面的合作。本研究中实现了众多技术创新，填补了国内在直升机应急救援任务程序训练领域中多项空白，形成 7 篇技术研究报告、10 篇论文、1 套软件、7 篇专利，研究成果满足研究内容要求与技术指标要求，且经实际应用验证，能够有效满足航空应急救援机组人员的协同任务训练需求，并具备广泛的应用前景。



图 30 航空应急救援虚拟协同训练系统应用情况

附表：团队航空应急救援相关研究成果清单

表 2 论文成果列表

1	论文-Helicopter maritime search area planning based on a minimum bounding rectangle and K-means clustering	SCI-Q1	Chinese Journal of Aeronautics,2021
2	论文-Evaluation method for helicopter maritime search and rescue response plan with uncertainty	SCI-Q1	Chinese Journal of Aeronautics,2020
3	论文-A Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Time-Space Weight for Helicopter Maritime Search and Rescue Decision-Making	SCI-Q1	IEEE Access,2020
4	论文-A Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Time-Space Weight for Helicopter Maritime Search and Rescue Decision-Making	SCI-Q1	IEEE Access,2020
5	论文-Evaluation method for helicopter maritime search and rescue response plan with uncertainty	SCI-Q1	Chinese Journal of Aeronautics.2020
6	论文-Team Effectiveness Evaluation and Virtual Reality Scenario Mapping Model for Helicopter Emergency Rescue	SCI-Q1	Chinese Journal of Aeronautics,2020
7	论文-Training Effectiveness Evaluation of Helicopter Emergency Relief Based on Virtual Simulation	SCI-Q1	Chinese Journal of Aeronautics.2018
8	论文-Spread Vector Induced Cellular Automata Model for Real-Time Crown Fire Behaviour Simulation	SCI-Q1	Environmental Modelling & Software.2018
9	论文-面向林火持续侦察的多无人机分布式控制方法	EI	航空学报, 2020
10	论文-Virtual simulation of the maritime search operation for drowning crew	EI	AIVR,2019
11	论文-Mission Effectiveness Evaluation of Manned/Unmanned Aerial Team based on OODA and Agent-Based Simulation	EI	AIVR,2019

12	论文-Construction of Earthquake Scenario and Study of Automatic Helicopter Driving based on Virtual Simulation.	EI	AIVR,2018
13	论文-Study On Evaluation Merhods Of Undergraduate Aircraft Overall Design Course Based On Team Design Competition	EI	ICAS,2018
14	论文-基于 ANP 的直升机单机森林灭火训练效能评估	EI	北京航空航天大学学报.2017
15	论文-Simulation-Based Helicopter Mission Effectiveness Evaluation Method	EI	Applied Mechanics and Materials.2014
16	论文-Virtual Reality Oriented Modeling and Simulation of Water-dropping From Helicopter	EI	AIVR 2018
17	论文-基于结构熵权法和 HFWGHM 算子的海上救援航空应急资源布局评价方法研究	北大核心	数学的实践与认识, 2019
18	论文-考虑时间满意度的海上应急救援航空基地选址方法	北大核心	数学的实践与认识, 2020
19	论文-基于嵌套循环结构的分形应急组织构建研究	北大核心	管理评论, 2020
20	论文-A Time Domain Based Iterative Method for Helicopter Maritime Search Area Planning and the Simulation Environment for Maritime Search Mission	IEEE	IEEE ACCESS, 2020
21	论文-Application of an adapted genetic algorithm on task allocation problem of multiple UAVs	IEEE	Navigation and Control Conference, 2018

表 3 专利软件著作成果列表

1	专利	专利-一种面向任务仿真的机场地面调度流程快速建模系统
2	专利	专利-一种应用于直升飞机的海上搜救模拟辅助设备
3	专利	专利-一种简化的单旋翼带尾桨类直升机飞行控制仿真方法
4	专利	专利-面向可视化仿真的雾的动态仿真方法
5	专利	专利-常规布局直升机受力反演与参数匹配的动力学建模方法
6	专利	专利-一种直升机部件骨骼化动态可视化仿真方法
7	专利	专利-一种实时贴图渲染的动态电子仪表仿真方法
8	专利	专利-一种针对直升机应急救援任务的训练方法和系统
9	专利	专利-面向航空消防训练的森林火灾三维视景的构建方法
10	专利	专利-一种基于浮力面元的船体快速建模方法
11	专利	专利-一种基于混合现实的搜救流程仿真与交互系统及方法
12	专利	专利-一种面向海上搜救任务仿真的直升机油耗模型构建方法
13	专利	专利-一种多循环与多约束融合的航空应急救援效能评估方法
14	专利	专利-一种航空应急救援虚拟场景的分级构建和层次化训练方法
15	专利	专利-一种考虑不确定性的直升机海上搜救处置方案综合评估方法
16	专利	专利-一种面向海上溢油处置的直升机任务仿真流程构建方法
17	专利	专利-一种面向直升机海上搜救遇险人员的任务区域全局规划方法
18	专利	专利-一种基于粒子群算法的快速投水灭火策略规划方法
19	专利	专利-面向大规模转运的航空应急部署与调度仿真系统
20	专利	专利-一种面向水陆两栖飞机的海上搜救任务仿真评估方法

21	专利	专利-三维实体模型轻量化优化方法
22	专利	专利-管路系统动态原理图快速绘制方法
23	专利	专利-一种三维模型批量格式转换及轻量化方法
24	专利	专利-一种简化的单旋翼带尾桨类直升机任务特性仿真方法
25	软件 著作	软著-基于直升机的海上物体漂移搜救模拟系统 V1.0
26	软件 著作	软著-海上应急处置决策支持系统 V1.0
27	软件 著作	软著-海上搜救任务区域规划系统 V1.0