

中图分类号: U8

论文编号: 1028707 10-Z043

工 程 硕 士 学 位 论 文



基于广西通用航空发展的 空域管理分析

学 号: 0907524

姓 名: 薛廷伟

专业、领域: 交通运输工程

研究 方 向: 空中交通管理系统

指 导 教 师: 韩松臣 教授

南京航空航天大学

研究生院 民航学院

二〇一〇年十二月

工 程 硕 士 学 位 论 文



基于广西通用航空发展的
空域管理分析

学 号: 0907524

姓 名: 薛廷伟

专业、领域: 交通运输工程

研究 方 向: 空中交通管理系统

指 导 教 师: 韩松臣 教授

南 京 航 空 航 天 大 学

研究生院 民航学院

二〇一〇年十二月

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics

The Graduate School

College of civil aviation

Area airspace management analysis based on development of Guangxi General Aviation

A Thesis in

Traffic and Transportation Engineering

by

Xue Tingwei

Advised by

Prof. Han Songchen

Submitted in Partial Fulfillment

of the Requirements

for the Degree of

Master of Engineering

December, 2010

承诺书

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，独立进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人享有著作权的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

本人授权南京航空航天大学可以有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅，可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

(保密的学位论文在解密后适用本承诺书)

作者签名： 薛建伟

日 期： 2011.1.4

摘 要

为了解决日益增长的空中交通量，空域管理的不断被细化，低空空域管理也越来越受到国家的重视，通用航空更应该抓住时机开创产业发展的新局面。

目前通用航空发展面临的一个实际问题是：如何准确、实时地掌握和监控低空空域飞行器，进而完善保障服务体系，促进通用航空及相关产业的跨越式发展。本文使用盲棋导航的子空域划分方法，首先对圆形扇面的空域分布进行了研究，选取湛江和桂林两处繁忙交汇点进行了实例分析；进一步地，借助导航设备分析手段，对如何提高空域利用率进行了分析，通过数据分析得出矩形为最适宜划分的基础规划；同时，由于广西地区特殊的地形、气候及通用航空机体自身特点，限制通用航空只能在某个既定空间内实施作业，本文运用计算机编程对低空飞行器可能发生的危险进行预测，比较了不同航向和不同速度下低空空域的冲突避险，结合多年的管制工作实际，对运行中通用航空活动受限这一难点，提出了产生延误的根本原因及解决对策。在空域划分及冲突避让的基础上，本文还就今后在广西地区通用航空发展的可行性方面进行了研究和展望。

关键词：通用航空，空域管理，目标监控，冲突避让

Abstract

In order to settle increasing air traffic flow, airspace management continues to be refined, national pay more and more resources attention to low-altitude airspace, General aviation industry should seize the opportunity to create a new situation.

A practical question on general aviation current restrictions development is: real-time control and monitoring of aircraft in low altitude airspace. This dissertation uses the method of research on partition of blind-chess guiding airspace. First, has been studied the spatial distribution of the circular fan, analyzed Zhanjiang and Guilin two busy intersection for example. Furthermore, use the navigation equipment analysis tools on how to improve airspace utilization. Rectangular airspace is the most appropriate basis planning for division use data analysis. At the same time, In Guangxi autonomous region due to the special terrain, climate and general aviation the organism itself characteristic, limit General Aviation works within a basic given space implementation this method also used language program evaluated conflict to prevent aircraft flying in low altitude and comparison between the different course and different speeds at low altitude airspace conflicts hedge, Combined with years of actual controller work, Direct the difficulty On the operation of general aviation activity limitation. Have proposed the root causes of delays and Solutions, This based on the avoidance division and conflict in the airspace. This article also expect to the future development of general aviation in the Nanning region has been studied the feasibility and prospects.

Key words: General Aviation; airspace management; target monitoring; conflict avoidance;

目 录

第一章 绪论..... 1

1.1 研究背景 1

1.2 研究意义 2

1.2.1 通用航空的发展..... 2

1.2.2 低空空域管理的原则及经济意义..... 3

1.3 国内外研究现状 6

1.3.1 国外研究现状 6

1.3.2 国内研究现状 8

1.4 本文主要内容 9

第二章 广西地区低空空域利用问题分析 11

2.1 广西地区低空空域利用存在的问题.....11

2.1.1 低空空域利用率低..... 12

2.1.2 低空空域存在安全隐患..... 12

2.2 低空空域管理利用问题分析..... 13

2.3 低空空域飞行冲突问题分析..... 14

2.3.1 地理环境影响 15

2.3.2 气候环境影响 16

2.3 本章小结 17

第三章 低空空域监控及划分 18

3.1 低空目标监控的空域划分概述..... 18

3.1.1 构建子空域划分的关键参数..... 18

3.1.2 建立低空坐标系统的目的..... 19

3.2 以桂林、湛江为中心的子空域划分..... 20

3.2.1 圆形子空域划分..... 20

3.2.2 正六边形子空域划分..... 20

3.2.3 选取矩形（正方形）的讨论..... 21

3.2.4 选取桂林、湛江进行子空域划分..... 22

3.3 本章小结 23

第四章 低空空域飞行冲突预测与解脱 25

4.1 低空空域飞行冲突与解脱概述..... 25

4.2 低空空域飞行避让标准..... 25

4.2.1 低空空域同高度汇聚飞行冲突预测..... 26

4.2.2 调速法的算法分析..... 29

4.2.3 调速法实例分析..... 30

4.3 基于调速算法实现低空空域冲突避让..... 31

4.4 计算机程序实现自主冲突解脱与避让..... 31

4.5 本章小结 32

第五章 总结与展望 33

5.1 本文工作总结 33

5.2 展望 33

参考文献..... 35

致 谢..... 39

在学期间的研究成果及发表的学术论文 40

附录..... 41

图 表 目 录

图 1.1 空域资源使用可能性边界图..... 5

图 1.2 空域资源供求动态均衡图..... 6

图 2.1 南宁分区管制图.....11

图 2.2 桂林地区高度示意图 16

图 3.1 以来宾为中心的划分 19

图 3.2 圆形子空域的划分 20

图 3.3 盲棋系统中不同空域目标划分示意图..... 21

图 3.4 正方形盲棋导航子空域示意图..... 22

图 3.5 以桂林为中心的空域划分..... 23

图 3.6 以湛江（湖光）为中心的空域划分..... 23

图 4.1 航空器的运动矢量关系 27

图 4.2 航空器 B 的走廊与航空器 A 保护区的关系 28

表 2.1 因空域使用导致的作业延误表..... 14

表 2.2 低空空域飞行活动汇总表..... 15

表 3.1 不同形状的子空域比较..... 22

表 4.1 民航飞行水平间隔标准..... 26

表 4.2 部分通用航空器性能数据..... 26

表 4.3 Fortran 语言计算机程序调速 32

第一章 绪论

1.1 研究背景

目前,世界许多国家低空空域管制服务手段还相当薄弱,使用协调层次复杂,难以适应当今信息时代航空主体多元化发展的新趋势。随着经济建设的不断发展、科学技术的快速进步和人民生活水平的逐步提高,国家和公众对飞行空域特别是低空空域的需求与可供使用的低空空域资源不足、空域资源相对空中交通活动需求的有限性和稀缺性的矛盾日益突出,成为限制空中交通经济、快捷、有序发展的重要瓶颈。以 2006 年西北地区通用航空为例,总共完成通用航空飞行 2363 小时,安全飞行 4986 个起飞架次,申请及批复正常率为 81.99%,大部分通用航空作业单位都经历过延期和重新申请,在各种延误因素中,空域原因就占到约 60%^[1]。

我国空管系统建设是为适应国民经济增长、国防力量增强和航空事业发展的需要而进行的。空管面临的机遇,来自国民经济建设、国防建设发展的牵引推动和国家投资政策的倾斜。目前,为适应我国航空事业发展的需要,国家空管委已经把充分开发空域资源特别是低空空域资源作为新的建设重点,并作为国家空管建设“十二·五”规划的重点。可以说,在未来的空管系统建设中,低空空域实体运行体系将成为我国空管系统建设的重要组成部分。随着空管建设水平的不断推进,管制手段的有效提高,提高对低空空域的飞行保障能力和服务管理水平,对于扩大低空空域飞行空域,方便通航用户低空空域飞行的申请、报批,提高低空空域利用率,缓解重点地区低空空域的使用矛盾等。

由于现行的低空飞行中严重缺乏信息服务的基础资料,飞行任务和计划审批程序复杂,空域管理方式落后(无非管制空域)等原因,严重制约了低空空域及相关产业的发展,使得低空飞行活动的数量较少,低空空域的飞行服务通常是由各级空管部门兼管。随着低空空域管理改革的实施,对低空空域实行分类管理,从现行的管制空域中划设出部分低空监视空域和报告空域,对这些空域内的飞行简化报批手续,提高低空空域实际量将会促进低空飞行活动数量的快速增长。如何利用新技术手段,构建全新的低空空域飞行服务体系,提高低空飞行的服务能力和水平,对低空空域资源的开发利用将有直接的促进作用。航空管制部门依据空域管理的分工、政策、法规和程序,负责空域管理工作。按照飞行管制区域的划分,负责空域的设置、调整和协调,对管辖区内的空域实行直接或间接的控制^[2],在可以接受的安全范围内,为在此空域内运行的航空器提供最大限度的灵活性、机动性,即在高密度、高速运行的空域内,要为航空器提供最大的间隔,并对其实施主动管制^[3]。

长期以来,我国通用航空承担了大量社会公共服务任务,。今后通用航空事业应集中发展以下项目:(1)为有中国特色的现代化农业建设提供服务。通用航空将发挥传统作业优势,引进先进机型,降低成本,提高作业效率,加大对农村、农业、农民的服务力度,提高服务能力,真正惠及“三农”^[4]。(2)加强我国航空应急救援体系建设。5.12四川汶川特大地震灾害发生后,通用航空在救灾抢险过程中发挥了举世瞩目的作用。以此为发展契机,逐步建立以民航行业为主导、通用航空企业为主体的航空应急救援体系,加强政策引导和扶持,扩大机队规模,提升航空应急救援能力。积极协调地方政府及相关部门,优先发展偏远及经济欠发达地区的紧急医疗救护,逐步满足社会公众对紧急医疗救护的需求^[5]。积极协调地方政府及相关部门,逐步满足社会公众对紧急医疗救护的需求。(3)为林业建设与森林防护提供服务。近年来国家加大了对飞播造林及航空护林的资金投入,通用航空将在扩大机队规模的基础上,更好地提供作业服务。(4)目前我国对人工降水作业的需求日益增长,积极与国家气象部门联系,加大对人工降水领域的服务力度。(5)为电力建设提供服务。在今春的冰冻雨雪灾害过后,国家加大了对电力建设事业的投入,通用航空在电力巡线、电力作业、吊装、吊挂服务等项目上有更广阔的应用空间。着力满足城市消防、交通巡查等城市公共服务领域的需求^[6]。

1.2 研究意义

1.2.1 通用航空的发展

国际民航组织(ICAO)对通用航空的定义是:通用航空,是指“定期航班和用于取酬的或租用合同下进行的不定期航空运输以外的任何民用航空活动”,具体是指对社会公众开放使用的定期和不定期航空运输以外的任何民用航空活动,统称为通用航空^[7]。《国际民用航空公约》附件6航空器运行规定,通用航空运行是区别于商业航空运行或航空作业的一类航空器运行^[8]。

低空空域用户主要是通用航空,因此低空空域的活动范围就可以理解为通用航空活动的空间范围即通用航空进行作业的空间,它可以分为机场区域、航线飞行区域和作业区域。机场区域,是指通用航空飞机离场起飞爬升、加入航线和进场下降、进入着陆以及本场活动的地面及空间范围。通用航空的机场区域既包括飞机所在地机场,又包括用于通用航空作业的临时机场。作业区域,是指通用航空飞机根据业务的需要,在指定位置进行通用航空作业的区域。航线飞行区域,是指通用航空飞机按计划调机、归建、训练或进行其他活动的飞行区域。而飞行区域又可分为水平区域和垂直区域。水平区域主要集中在各类自然资源比较丰富的地区,比如工业、农业、林业、渔业、矿业、海洋监测、航空摄影、物探、遥感测绘、旅游观光等活动^[9]。垂直区域的飞行高度主要在相对

高度 3000 米以下。例如,我国农林类航空作业飞行高度一般在相对高度 15 米至 300 米左右;航空运动、训练以及旅游观光飞行一般在高度 1500 米以下;广告飞行一般在相对高度 3000 米以下;跳伞飞行通常在 2400 米以下;航空摄影、物探、遥感等飞行主要在标准气压高度 3000 米至 7000 米左右,有时也达到 8000 米至 9000 米^[10]。

开发低空空域,发展通用航空产业,应该注重促进投资经济和消费经济的增长。通过从国外航空发展史来看,开发低空空域可以牵引带动国家相关产业链的发展。通用航空在低空空域开放后,需要大量的航空器,这将极大地促进国家航空制造能力和水平的提高,进而带动诸如新材料、电子、通信、能源、精密制造等一系列相关高新技术产业的发展^[11]。同时,开发低空空域不但可以带来可观的经济效益,还可以产生极大的社会效益,如缩小城乡差距、平衡地区发展、提高应急反应能力、增加投资就业机会等。

预计今后 10 年间我国通用航空年均增长将达到 15%以上,对低空空域的需求与日俱增,将对低空空域管理和服务提出更高的要求。适时深化低空空域管理改革,有利于充分开发利用低空空域资源,促进通用航空事业、航空制造业和综合交通运输体系的发展;有利于拉动内需、扩大就业,培育新的经济增长点;有利于为国防建设提供航空人力资源储备和基础环境支撑,对全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化建设具有十分重要的战略意义^[12]。

1.2.2 低空空域管理的原则及经济意义

(1) 低空空域管理的原则

由于我国还没有设立“非管制区”,航空管制对 3000 米以下空域严格控制,飞行保障由空军和民航共同承担。因此,通用航空飞行在计划的申报上涉及部门多,限制也多;如果是跨地区飞行,涉及的环节就更多。使用空域必须提前报批,严格“一事一议”,即使获准,审批时间少则 3~5 天,多则 30 天。如此费时费力,极大地制约了通用航空灵活、快速、高效的特点,丧失了许多市场机会。同时,一旦计划不能付诸实施,就会造成用户与企业之间的矛盾,极大地制约了通用航空灵活、迅速、高效特点的发挥^[13]。

低空空域管理改革作为民用航空事业发展的根基也是助推通用航空发展的一个中心工作,会给通用航空带来一片广阔的天地。按照国际民航组织有关要求,各国空域管理应遵循下列三大原则:

a. 主权性原则

主权性原则主要是指空域管理代表各国主权,不容侵犯,具有排他性。

b. 安全性原则

安全性原则主要是指在有效的空域管理体系下,确保航空器空中飞行安全,具有绝对性^[14]。低空违规飞行长期存在。不按规定履行审批、报批手续,随意飞行增多,给严密掌握飞行动态造成极大困难。实际中存在着不少航空单位、地方政府为了本部门、本

地区利益,在不了解航空法规、飞行管制工作规定的情况下,不在规定期限内履行审批、报批手续或明知故犯,甚至以政府行为介入飞行为由擅自组织飞行。

1998年以来,先后发生了重庆市解放碑上空上演了一场18个商业宣传气球升空上天,阻挠飞机飞行航线,险些酿成飞机与气球相撞的巨大航空灾难,华联俱乐部高兴哲驾滑翔伞进入北京禁区并降落于天安门广场、中科院大气物理研究所擅自使用自制遥控飞艇在玉泉山和西郊机场附近飞行、长沙远大直升机坠毁事件和武汉东湖直升机擅自飞行事件等问题,严重影响了要地安全和正常的飞行秩序^[15]。

安全问题始终是低空空域开放的症结,主要是安全责任不明确、安全法规不健全。我国从事通用航空飞行活动的各类人员有上万人,部分私人飞行爱好者和通用航空飞行单位的安全法律法规意识较为淡薄,违反规定、擅自飞行的问题时有发生,如不加以规范,将严重扰乱飞行秩序,甚至造成严重事故,危及人们生命财产的安全。因此,随着低空空域管理改革进程的不断深入,一定要通过法律法规的建设和宣传教育,形成全民知晓的低空空域飞行安全意识,分清安全责任,为通用航空的自由飞行做好一切准备^[16]。

c. 经济性原则

经济性原则主要是指在确保飞行安全性基础上,科学地对空域实施管理,保证航空器沿最佳飞行路线,在最短时间内完成飞行活动,具有效益性。

空域是国家重要资源,是航空器的活动区域。随着我国航空运输业的快速发展,空中交通流量不断增加,空域资源的供需矛盾日益突出。因此,改善我国空域运行环境,提高空域资源利用率已成为现阶段我国空域管理的主要任务。空域管理的核心是指在有限的空域资源下,通过科学管理,实现空域使用效益最大化,它包括空域分类、空域灵活使用和空域评估等内容。空域分类作为空域管理的重要组成,是确保空域安全、充分和有序利用的前提,是满足不同空域用户需求的基础^[17]。

现有的低空空域管理机制和手段已经很难适应航空事业发展对低空空域的使用需求,除进行必要的空域结构调整、管理机制的改革外,充分利用新技术、新装备解决低空空域管理面临的问题,提高低空空域的管理和使用水平,是提高低空空域资源安全高效利用的重要途径^[18]。低空空域管理改革必将促进低空空域资源的开发使用,也使低空用户对低空管制空域的服务能力提出新的要求,这些都将促进现行的管制服务体系向低空空域进行延伸。解决低空管制空域运行能力不足的问题迫在眉睫。

(2) 低空空域资源的经济学分析

a. 空域资源的军民航使用分析

空域资源的用途总体上分为民用和军用。从宏观上看,两者之间存在争夺性或替代性,互为消长,呈现“使用可能性边界”,在一定条件下,理论上必须给出“使用多少”的界定。从微观上看,厂商行为必然受利润支配,故为有偿使用,经济价值由此产生;政府行为或军方使用,提供公共产品或国家安全,不形成市场价值^[19]。

借鉴经济学上的“生产可能性边界”，本文提出了“空域资源的使用可能性边界”，用以描述空域资源军民用配置结构，揭示其“特殊性、稀缺性”特征，如图 1 中所示。图中两条曲线代表不同体制下军民航配置结构，其中较为平坦的曲线为空域资源的使用倾向于民用部分，较陡峭的曲线为资源的使用倾向于军用部分^[19]。在一国空域资源总量有限的条件下，更多的空域资源为民所用，则更体现其经济效益。

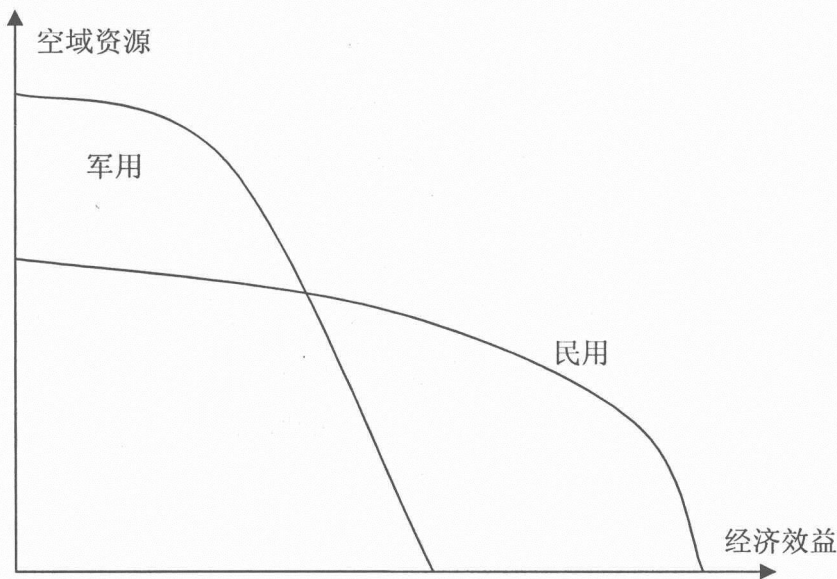


图 1.1 空域资源使用可能性边界图

b.空域资源供求动态均衡

作为具体某一国家或地区的空域资源，由国家的专门机关进行管理，其供给为常数，如图 1.2 中的 S_1 、 S_2 、 S_3 ，供给曲线为垂直与横坐标的垂线。但是航空运输业对其需求是随着经济全球化和飞行器技术的快速发展而发生动态变化，即如图 2 中的 D_1 、 D_2 、 D_3 线，为向右上方倾斜的直线；且从航空运输业发展的总趋势看，对空域资源的需求呈递增的趋势，即其需求曲线有从 D_1 往 D_2 、 D_3 移动的趋势。通过政策倾斜或管理博弈途径增加民用供给（以减少军用为条件），即民用空域资源由 S_1 右移到 S_2 甚至 S_3 ，使均衡点不断外移，由 E_1 点到 E_2 点甚至到 E_3 点。这样，在同样的价格水平下，更多的空域资源为民用航空使用，促进了航空运输业的发展，提高了国家空域资源的使用效率，体现了空域资源的经济性^[19]。

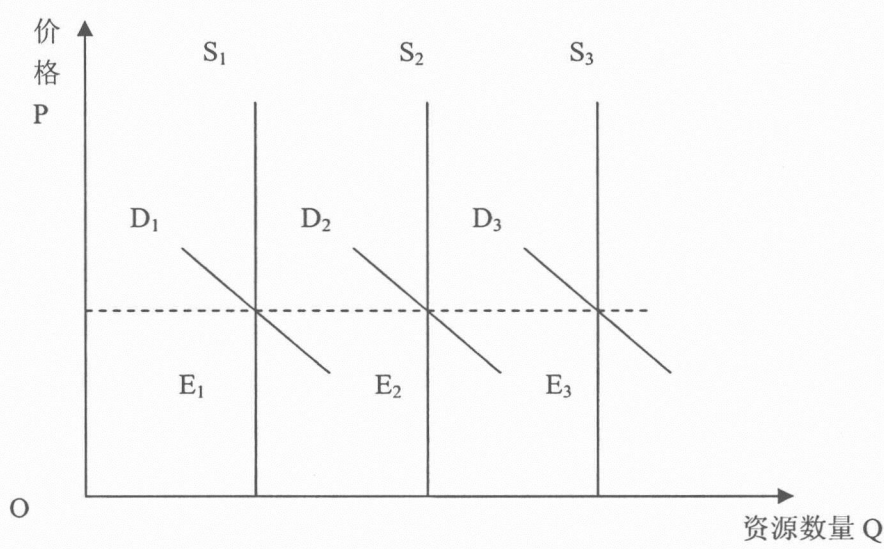


图 1.2 空域资源供求动态均衡图

为了充分利用空域资源，并为低空空域资源的利用更好地体现市场资源配置的实际功能，在空域资源的合理分配上，空域资源的使用更多地使用于民用航空，增大自由飞行空间，并最大限度地利用闲置资源。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 国外研究现状

(1) 国外基于低空空域目标定位的空域划分情况

国外的低空空域目标监视由于基础设施构建丰富，雷达辐射面广，各类低空飞行目标可以独立定位，而且精度较高。美国最初的目标定位来源于移动信息定位，基于蜂窝网络^[20]，定位精度为100米、准确率达67%，在蜂窝系统中实现对移动台的定位除了满足E-9 11^[21]定位需要外，广泛应用于NNSS(美国海军导航卫星系统)、GPS(全球定位系统)、前苏联的GLONASS 系统^[22]。

国外的低空空域划分、目标监视及相关系统的发展自国际民航组织（ICAO）规定ATS 空域必须按要求进行分类和命名以后，并根据机场繁忙程度和地区经济发展需求，逐步搭建目标监控系统，并提供适合该类空域要求的服务。

美国在 1996 年开始有选择地引入 ICAO 的空域分类标准^[23]。改革后的 E 类空域(通用航空空域)、G 类空域为通用航空长早了宽松、规范、安全的运行环境。其中 E 类空域是美国面积最大、应用最为广泛的空域，也是通用航空运行的主要空域，其中构建大

量的小飞机运输系统,满足安全需求。E类空域内目视和仪表飞行可以混合运行,仪表飞行需要管制放行许可,接受与其他飞行之间的间隔服务;目视飞行仅在管制员工作负荷允许时提供交通咨询服务,飞行情报服务和告警服务由飞行服务站提供。G类空域对所有飞行来说都是非管制空域,允许 IFR 和 VFR 运行,但不提供管制服务,通常为 1200 英尺以下^[24]。

今天美国通用航空业发展的快速、便捷源于美国发达的空中导航网络,而这些发展也只不过是用了80年。上世纪20年代,由于低空作业人员有无线电发射站和旋转灯光引导从一个着陆点到另一个着陆点时,可用的旋转信号灯、弹有限,引导存在断档区。10年后,美联邦开始引入导航辅助设备,24小时提供服务,由政府出资安装无线电网络设备,覆盖四个不同方向传输无线电信号,为通用航空驾驶员提供全程导航。

随着通用航空的发展,原来的四个方位的导航已经不能满足日益发展的通用航空需要,在全美有1000多个VOR台、360个话台中心雷达站陆续安装在小机场为通用航空服务和导航总新站向外发射,形成一个巨大的圆轮图案,导航设备。空中交通系统对通用航空的安全作业至关重要,它监控飞机的相互避让和有序的在机场起降范围进出。在飞行规则的限定下,飞行间隔的标准距离取决于机型大小和该机所在的空间。美国的交通管制中心设备功能完善,每一种设备可担任不同的任务特点。全美有近700个机场有塔台控制,除了枢纽机场外,塔台控制机场主要为通用航空使用。繁忙的机场塔台另有负责观察空中交通量的仪器,全美约有300多个机场为通用航空设置了监控雷达,在通航作业需要时提供必要的帮助^[25]。

另一项有针对性的服务是通航交通控制网络,即全时段空中交通网络控制中心(ARTCCs)^[26]针对通用航空的飞行活动复杂,仪表引导是有限度的;当保持能见飞行或穿云降落时,雷达搜索不到,最终决定的是飞行员。遇到不可飞天气可列入到飞行计划、仪表指挥控制系统。

美国于1994年着手成立了“先进的通用航空运输实验”的专家机构,简称AGATE。主要由美国航空航天局(NASA)、联邦航空局(FAA)、航空制造商等机构的60多个成员组成,加上机场当地的政府管理者,由美国航空航天局牵头。AGATE负责整个计划的设置、投资、技术及相关协调等,在美国称之为“国家通用航空蓝图”^[25]。此计划的最终目标是“小飞机运输系统”,简称SATS^[27]。

(2) 国外低空安全管理及冲突预测方法

冲突探测主要基本的方法分为确定型(nominal)、最差情况(worst-case)和随机型(probabilistic)3类。确定型方法在飞机航迹可知性很好的情况下具有较高的准确度,且算法简单,但没有考虑不确定因素的影响,这一点在冲突探测中显得尤为重要。最差情况探测是动态模型的一个极端情况,通常具有较高的误报率,因此应用范围小,仅在特定的

情况下使用。随机型冲突探测方法考虑飞机行为的不确定性,给出冲突发生的概率^[28]。在欧美等航空业发达国家,安全间隔方面的理论工作从20世纪60年代就已经开始进行了,最著名的是英国的Reich^[29]在20世纪60年代针对北大西洋地区平行航路系统在纵向、侧向和垂直方向分别建立了碰撞风险模型。1973年, Siddique^[30]提出由于在高度上航空器之间水平间隔的丧失引起航路空域中的冲突。国际常用的冲突避让算法基于Agent的冲突解脱算法^[31]、和无约束条件下的算法,分别将动态优化^[32]、混合整数规划^[33]。Ghosh^[34]采用电势能法把每架航空器假设成一个正电粒子,目的地被假设为负电的粒子,两架航空器间隔被直接简化为具有的电荷间的排斥力假设的航空器。这种方式中,某些电场力是可变参数,这说明这种方法在一些情况下不是最优的。以及最优控制理论^[35]、确定型冲突探测(E模型和V模型探测)^[36]在多机解脱方面, Pullottino^[37]从线性规划方面考虑,把多机冲突模型化为一个混合整数规划(MIP)问题,在一般几何构造法上建立冲突避免约束并把它们公式化为线性约束条件,用最优化工具CPLEX来解决,但涉及的约束条件较多,计算复杂,导致多机冲突计算繁琐。上述方法均应用于解决航路及中、高空冲突问题,从低空空域角度及通用航空器性能的角度并没有得到较好的飞行冲突解脱结果。

1.3.2 国内研究现状

(1) 国内基于低空空域目标定位的空域划分情况

我国的空域划分在实行四级管制的基础上按各自隶属关系及行政区进行划分,空域划分大部分集中于终端区域的扇区划分,并没有针对低空飞行器及其地理特征的详尽划分方法^[38]。

对于定位技术系统的相关研究已经多年,均以蜂窝为子网定位,广泛应用于在军事和民用技术的定位,主要有以雷达、Loran C(罗兰-C)、Omega(奥美加)、Tacan(塔康)、VOR/DME、JTIDS(联合战术信息分布系统)、AVL(自动车辆定位系统)等为代表的陆基无线电导航系统^[39],我国的双星定位系统以及欧盟正在实施的Galileo(伽利略)系统为代表的卫星导航定位系统^[40],但仅限于通信技术定位及子网络划设。

现阶段,我国航空管制部门缺乏对低空空域飞行器的跟踪监视手段。通用航空器机载设备简单,飞行高度低,现行航空管制保障手段无法对其进行实时跟踪监视,雷达“看不到”,无线电“联不上”的问题突出。这种现状不仅严重影响了国土防空和飞行安全,还严重制约着低空空域的开放和通用航空的发展^[41]。

基于上述因素,我国对于通用航空执行作业的空域划分没有实质性研究,只限于车辆定位及单兵定位的网格化分布定位。随着地区经济的发展,呼之欲出的通用航空产业化在国家政策扶持下,等待跨越式发展的契机,但现实体制中对于通用航空目标监控并没有实质的系统开发和装备应用,没有实现经济发展与通用航空发展的实际匹配,对