

中图分类号: U8

论文编号: 1028707 10-Z039

工 程 硕 士 学 位 论 文



军航使用下的空域容量 评估及优化方法研究

学 号: C907502

姓 名: 王里付

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

中图分类号: U8

论文编号: 102870710-Z039

工 程 硕 士 学 位 论 文



军航使用下的空域容量 评估及优化方法研究

学 号: 0907502

姓 名: 王里付

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

Capacity Evaluation and Optimization Method for Army Training Airspace

A Thesis in

Traffic and Transportation Engineering

by

WANG Lifu

Advised by

Prof. Han Songchen

Submitted in Partial Fulfillment

of the Requirements

for the Degree of

Master of Engineering

December, 2010

承诺书

本人声明所呈交的硕士学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得南京航空航天大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。

本人授权南京航空航天大学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、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本承诺书）

作者签名： 王理付

日 期： 2011.1.4

摘 要

随着军航现代化和民航运输业的快速发展,我国空域资源日益紧张。如何科学评价军航使用下的空域容量,对充分利用空域资源,提高空域运行效率有着重要作用。

首先,本文对空域运行现状及存在的问题进行了介绍,并结合实例总结了当前军民航空域运行矛盾及各自的实际需求。其次,对军航飞机基本飞行动作空间模型进行研究,提出了基于训练科目的军航使用下的空域容量概念,总结了相关影响因素并给出了基于空域余度的容量分析方法。再次,针对某典型空域运行存在的问题,根据航路航线优化原则与方法,给出三种不同的考虑军航训练需求的空域运行方案。最后,结合实际训练科目需求,对三种运行方案分别展开遗传算法的训练科目安排,根据“军航使用下的空域容量”计算方法,得出三种方案下的军航训练空域容量,以实现方案选优,达到了在优化空域容量的基础上,根据实际训练任务需求灵活高效使用空域的目的。

关键词: 军航科目, 空域容量, 遗传算法, 空域优化

Abstract

For the modernization of aviation in army and the rapid development of civil aviation, airspace is increasingly congested in our country. In order to use the airspace resource adequately and improve airspace operation efficiency, the airspace capacity for army aviation needs to be evaluated scientifically.

Firstly, problems existing in airspace operation process and its current operation situation are introduced. Taking a concrete example, competition for the airspace resource between army aviation and civil aviation and their corresponding demand for airspace are analyzed. Secondly, the space model of movements for flight action is analyzed, and the concept of airspace capacity for army aviation is proposed. The related factors and calculation method based on the dimension of unoccupied airspace is put forward. Thirdly, for problems exist in some typical airspace, three different kinds of airspace operation plans are provided, according to the airline optimization principle and approach. Finally, the concrete army aviation training course is adopted to select the best plan based on the genetic algorithm. The airspace capacity for army aviation is calculated for the three airspace operation plans according to the method to calculate the airspace capacity for army aviation. In this way, the airspace can be used based on the capacity optimization effectively and flexibly.

Key words: Military course; airspace capacity; airspace optimization; genetic algorithm

目 录

第一章 绪论..... 1

1.1 选题背景和意义 1

1.1.1 军航发展的需要..... 1

1.1.2 民航运输业高速发展的需要..... 1

1.2 空域容量评估及优化研究现状 2

1.2.1 国外研究现状..... 2

1.2.2 国内研究现状..... 2

1.3 创新点与研究内容 3

1.3.1 创新点..... 3

1.3.2 主要研究内容..... 4

第二章 军民航空域运行问题分析..... 6

2.1 空域运行问题分析 6

2.1.1 军民航一体化不足..... 6

2.1.2 空域规划研究不够..... 7

2.2 某地区空域使用问题分析..... 8

2.2.1 民航运行方面 9

2.2.2 军航运行方面 11

第三章 军航使用下的空域容量..... 12

3.1 军民航飞行对比 12

3.1.1 飞行特点 12

3.1.2 飞行组织 14

3.2 民航使用下的空域容量 15

3.3 军航使用下的空域容量 16

3.3.1 军航基本飞行动作及科目..... 16

3.3.2 军航使用下的空域容量..... 20

3.3.3 军航使用下空域容量的数学分析..... 21

第四章 某地区军航使用下的空域容量评估及优化 24

4.1 基于民航流量的航路优化..... 24

4.1.1 航路设计的一般原则..... 24

4.1.2 基于某机场的优化方案..... 25

4.2 基于军航使用下的空域容量评估与优化..... 28

4.2.1 算法分析 28

4.2.2 基于遗传算法方案分析..... 33

第五章 总结与展望..... 41

5.1 主要研究工作总结 41

5.2 未来的工作展望 41

参考文献 43

致谢 46

在校期间研究成果 47

附录 48

图表目录

图 1.1 论文结构框图..... 5

图 2.1 飞行间隔图..... 6

图 2.2 某地空域图..... 8

图 2.3 时间段-导航点流量图 10

图 2.4 军航飞机穿越 ENKUS/MOTOM←→LBN 航段示意图 10

图 3.1 民用航空分类图..... 12

图 3.2 民航飞行流程示意图..... 14

图 3.3 军航飞行流程示意图..... 14

图 3.4 航班计划容量示意图..... 15

图 3.5 科目组成关系图 18

图 3.6 影响空域容量因素图..... 21

图 4.1 优化方案 1 示意图..... 25

图 4.2 优化方案 2 示意图..... 26

图 4.3 优化方案 3 示意图..... 27

图 4.4 编码示意图..... 30

图 4.5 遗传算法流程图..... 36

图 4.6 方案 1 空域使用图..... 37

图 4.7 方案 1 结果图..... 38

图 4.8 方案 2 空域使用图..... 38

图 4.9 方案 2 结果图..... 39

图 4.10 方案 3 空域使用图..... 39

图 4.11 方案 3 结果图..... 40

表 2.1 三天的平均流量表..... 9

表 3.1 军民航飞行特点比较表 13

表 3.2 军航训练基本飞行动作空间数学模型表 17

表 4.1 参数设置表..... 34

表 4.2 科目时间表..... 37

表 4.3 方案 1 空域空闲时间表..... 37

表 4.4 方案 1 科目与空域约束关系表..... 37

表 4.5 方案 2 空域空闲时间表..... 38

表 4.6 方案 2 科目与空域约束关系表..... 38

表 4.7 方案 3 空域空闲时间表..... 39

表 4.8 方案 3 科目与空域约束关系表..... 39

表 4.9 计算结果表..... 40

第一章 绪论

本章对军航使用下的空域容量评估及优化方法的研究背景和意义进行了介绍，并分析了其研究现状及不足，其中对军航使用下的空域容量评估及优化方法研究的不足进行了阐述，并给出本文研究的内容及创新点，最后介绍本文的章节安排和论文组织结构。

1.1 选题背景和意义

1.1.1 军航发展的需要

和平与发展是当今世界两大主题。但我国周边环境并不安定，印度对我藏南地区的非法侵占，日本对钓鱼岛的狼子野心，朝鲜半岛局势的变化莫测；国内疆独、藏独势力的蠢蠢欲动以及台湾和南海诸岛等问题的悬而未决。所有这些因素的存在，使得我们必须加快军队现代化建设的步伐。近年来，几次局部战争表明，航空兵部队作为高技术兵种，必然是未来战争的杀手锏。

随着综合国力的增强，一大批先进战机，如歼 8、飞豹、歼 10、歼 11 等大批量列装部队，陆海空军装备得到了显著改善。而要想提高部队战斗力，仅有先进的装备是不够的，我们还必须要加大训练力度、改善训练环境。众所周知，航空器在空中飞行时，需要一定的空间资源。军航因为拥有大量先进的战机和进行高强度地训练，必将占用更多的空域资源。特别是在某些以基地化保障模式为主的地方，由于机型多、飞行程序复杂，使得空域资源更为紧张，安全隐患加大。所以，加强军航使用下的空域容量研究，对于有效利用空域资源，缓解军民航空域拥挤问题，保证飞行安全具有重要的现实意义；同时也能为战时联合作战下的空域使用做出有益地探索。

1.1.2 民航运输业高速发展的需要

据统计^[1]，中国民航 60 年来总运力增长了 47 倍，总周转量增加了 2.4 万倍，旅客运输量增长了 1.9 万倍。据空客公司预测，未来 20 年，中国航空市场年均增长速度仍会达到 7.9%，尤其在二线城市航空运输量迅猛增长的背景下，国内航空市场未来几年将进入黄金时期，到 2020 年中国民航将实现运输总周转量 1400 亿吨公里以上，旅客运输量超过 7 亿人次，旅客周转量在国家综合运输体系中的比重达到 25%。而实际情况自 2005 年以来，我国民航运输总周转量（不含港、澳、台地区）一直保持在世界第二的位置。2009 年中国民航业完成总周转量 4,270,729 万吨公里，同比增长 13.4%；飞机起降架次 484.1 万架次，同比增长 14.52%；完成旅客周转量 33,748,785 万人公里，同比增

长 17.1%；完成旅客运输量 23,050.5 万人，同比增长 19.7%。综上所述，中国航线航班数量与客运量逐年迅猛增长，正在形成以轮辐式结构为主，轮辐式结构与城市对式结构并存互补的航线网络^[2]。

国内外经济的快速发展，既给民航业带来了机遇，同时也带来了更多挑战。随着空中交通流量的增加，我国的空中交通管理也将面临更大的压力。近年来，根据空管运行的实际情况，立足于现有国情，我们进行了一系列改革。其中包括航路、航线管制移交及优化、缩小最小垂直间隔 RVSM (Reduced Vertical Separation Minimum) 开放低空空域以及军民航联合运行等。2008 年北京奥运会和 2010 年上海世博会的成功举办，证明这些改革措施是有效的。所以我们必须坚定改革方向，以改革的思路、科学的理论和方法，加强军航使用下的空域容量研究，有效地解决日益突出的军民航运行间的矛盾。

1.2 空域容量评估及优化研究现状

1.2.1 国外研究现状

国外发达国家对空域容量评估及优化的研究开展较早。1948 年 BoIn 和 Pearcelf 最早提出假定服从泊松分布的机场跑道容量到达流模型^[3]；1959 年，Blumstein 分析了跑道的降落容量与间隔要求、下滑道的长度、飞机速度之间的关系^[4]；1969 年，Harris 提出了考虑随机因素的容量模型^[5]；二十世纪七十年代后期，随着空中交通量的快速增长，原有的机场运行系统已经不能满足持续增加的交通量需求，其结果造成了大量航班的延误和旅客的投诉，驱使研究者对现有机场的容量进行评估，对未来的航空交通需求进行预测，进行符合需求的机场规划。FAA 对机场容量的评估极为重视，1975 年，有 FAA 及运输系统中心主办了关于机场陆侧容量的会议；1983 年 FAA 就出版了用于对机场空侧容量评估的建议程序^[6]；接着出版了机场陆侧容量评估建议^{[7][8]}；1983 年 Horonjeff R. Francis X M.发表了《机场设计与规划》^[9]。1993 年，日本电子导航研究所的 Noriyasu Tofukuji 教授对日本东京机场进行了调查和统计分析，他根据交通繁忙状况下的管制员的工作完成情况，来判断容量极限是否达到，从而推算出终端区管制扇区的实际最大容量^{[10][11]}。1997 年，Eric R.Hughes 等人开发了 FACELIFT FY97，针对空域的自由飞行 (free flight) 进行评估^[12]；1998 年，欧洲控制实验中心 (EEC) 对德国进行了基于区域导航 (RNAV) 的空域评估^[13]。

1.2.2 国内研究现状

我国对空域容量研究起步较晚，在国内，对空中交通容量评估技术的研究开始于上世纪 90 年代末，2000 年胡明华、刘松、苏兰根发表《基于统计分析的单跑道容量估计

模型研究》提出用完全统计来分析跑道容量^[14]；2000 年韩松臣，胡明华，蒋兵等发表了《扇区容量与管制员工作负荷的关系研究》均以工作负荷均衡为优化原则，对扇区优化进行了研究^[15]；2000 年戴福清发表了《机场跑道容量若干问题的研究》，在不考虑飞机位置误差以及考虑位置误差两种情况下，分析了飞机机型组合、共用进近航道长度等因素对仅供着陆使用跑道的的影响，建立了相应的容量计算方法^[16]；在飞行程序影响容量方面，2007 年徐光，戴福清在《基于飞行程序模式下终端区容量的计算》中，利用一定的飞行程序对终端区容量进行了研究^[17]。

在空域优化方面，2003 年韩松臣、张明、黄卫芳发表《管制扇区优化划分的方法及计算机实现技术》，韩松臣教授针对影响空域容量和安全性的因素之一的扇区划分问题进行了研究，分析确定了管制空域结构拓扑描述的数学模型，建立了扇区划分的数学方法，并编制了基于管制员工作负荷的扇区优化软件，以实际算例的计算结果验证了扇区优化数学理论基础和应用软件的正确性^[18]；2006 年韩松臣、裴成功、隋东、左凌发表了《平行区域导航航路安全性分析》，韩松臣教授针对空域容量不足导致空域结构修改的问题进行了研究。对现有京沪单航路结构增加一条平行航路，从而构成平行区域导航航路，并对其航路间隔大小进行了分析论证，为空域结构调整提供了依据^[19]。

综上所述，民用机场空域容量评估和基于管制员工作负荷的空域容量评估的研究较为成熟。但由于军航飞行的特殊性，使得军航使用下的空域容量分析的研究开展得较少。尤其是对军航飞行的特点和方法分析得不够，致使我们在研究军航飞行时，经常根据民航飞行的特征来推测和概括军航的飞行规律。如民航航班飞行体现的是位移性，所以它是一个飞机流；而军航飞行体现的是机动性，是一系列机动动作的组合。二者的差异是很明显的。如果只是以研究飞机流的方法来展开对军航的研究，是与实际情况不符的。如果不正视军民航之间的这种差异情况，必然使我们的研究变得毫无意义。所以我们必须要在分析军航飞行固有规律的基础上，找出军航飞行与民航飞行的共性和特殊性，并以此为基础展开对军航使用下的空域容量评估及优化方法的研究。

1.3 创新点与研究内容

1.3.1 创新点

本文在认真分析军民航飞行特点及规律的基础上，对军航科目进行了详细研究。首次尝试基于科目分析空域容量的思路，提出军航使用下的空域容量概念和分析方法，进行概念创新，给出军航使用下的空域容量数学定义和计算方法，同时利用空域余度进行了数学分析。并以此为基础，结合某地空域运行现状，运用遗传算法对空域进行评估和优化计算，根据空域灵活使用和航路航线设计及优化的理论，得出空域的优化方案。据

目前所掌握的资料,关于军航的空域容量评估及优化的研究相关内容,在国内尚属首例。

1.3.2 主要研究内容

本文的具体章节安排如下:

第一章对选题的背景、意义和空域容量评估及优化研究现状进行分析,指出军航使用下的空域容量研究的不足,最后给出本文的创新点及研究内容。

第二章首先从总体上对我国空域运行存在的问题进行归纳,分析某地空域运行现状,指出其现状与我国空域整体运行存在的问题相吻合。然后对民航的航班流量进行分析,得出航段-时段的高峰流量,为后续问题的深入研究做好准备。

第三章比较分析军民航各自的飞行特点。找出他们不同点与相同点,尤其是对军航飞行具有重要影响的科目进行全面分析与研究,给出基于基本飞行动作的科目空间计算方法。在仔细分析民航空域容量的基础上,依据军航的飞行规律,提出军航使用下的空域容量新概念,并给出定义和计算方法。

第四章针对第二章提出的问题,运用航路优化的理论和方法,对某地空域进行优化,提出三种解决方案。运用军航使用下的空域容量新概念,采用遗传算法对空域进行优化计算,得出基于三种方案下的军航训练空域容量。并结合空域灵活使用的原则,找到最优化方案。

第五章结论与展望。总结本文的研究成果,对以后需要完善的地方进行展望。

论文的结构框图如图 1.1 示。

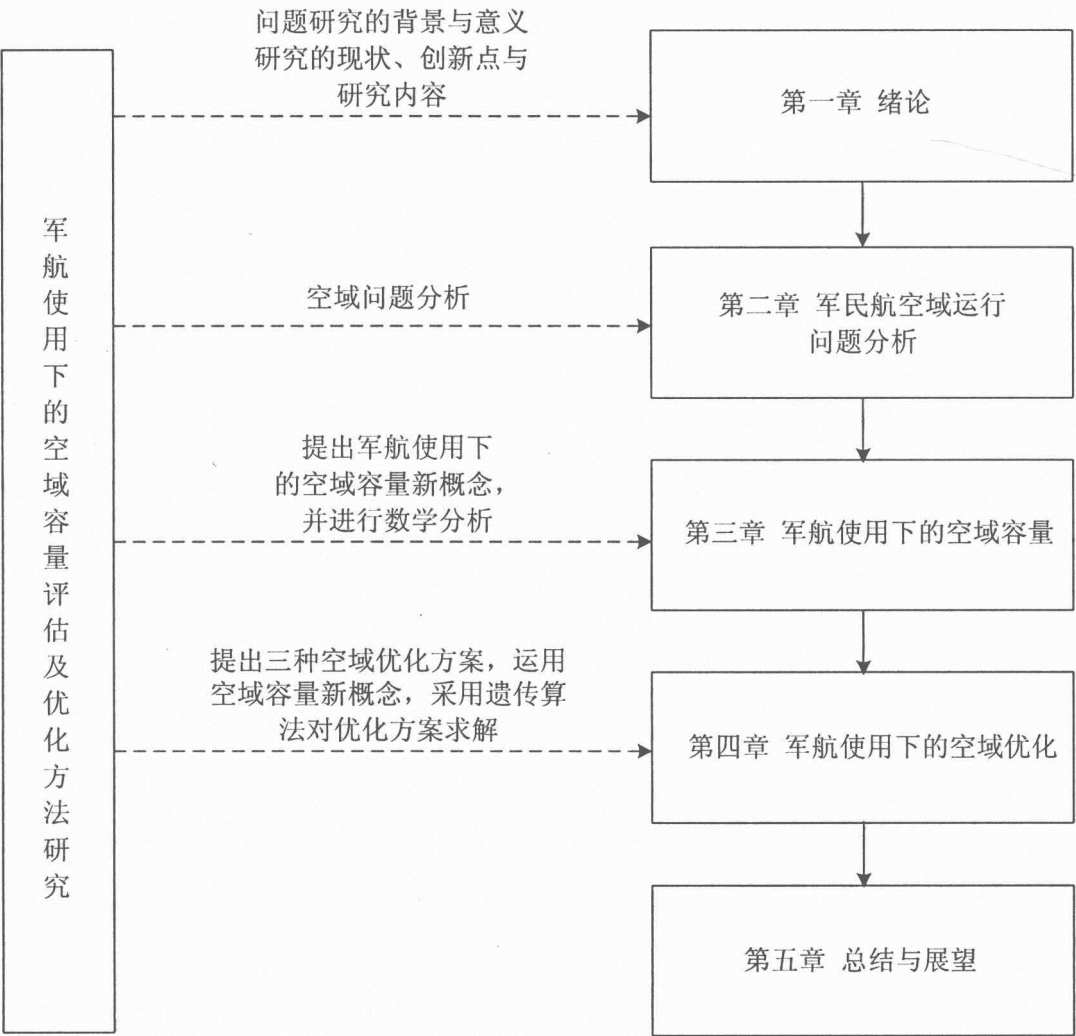


图 1.1 论文结构框图

第二章 军民航空域运行问题分析

空域资源是有限的，飞行员和空中交通管制员应当根据飞行规则，给各航空器之间配备一定的垂直间隔、纵向间隔或者横向间隔。图2.1所示是一种飞行间隔示意图。实际上，在不同管制方式下，有不同的间隔标准。如果将航空器之间的水平安全间隔定义为 H ，垂直安全间隔定义为 v 。那么，在飞行中，只要两架航空器的间隔都小于 H 和 v ，就认为发生了事故征候、危险接近或飞行冲突事故。

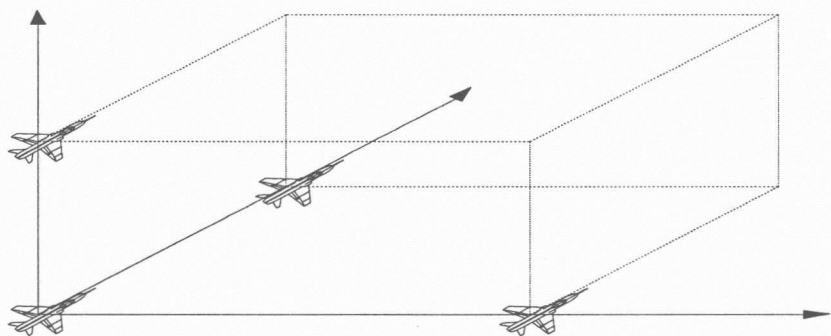


图 2.1 飞行间隔图

《中华人民共和国飞行基本规则》规定：中华人民共和国境内的飞行管制，由中国人民解放军空军统一组织实施，各有关飞行管制部门按照各自的职责分工提供空中交通管制服务。即整个空域的管理由空军负总责，在划定的民航航线和区域内由民用航空航行管理局管理。

我国的空域划分为飞行情报区、管制区、限制区、危险区、禁区、航路和航线几种类型^[20]，管制区又可分为四种管制方式，即高空管制空域（A类空域）、中低空管制区域（B类空域）、进近（终端）管制区域（C类空域）和机场管制地带（塔台管制空域，D类空域），对应的管制单位分别为区域管制室、终端（进近）管制室和塔台管制室^[21]。

2.1 空域运行问题分析

当前，我国在空管体制建设、空域规划及运行等方面存在一些问题，主要体现在以下几个方面。

2.1.1 军民航一体化不足

1. 技术标准不统一

目前民航实行的是以国际民航组织推荐的标准，而军航实行的是以部队运行的标准为基础的军标^[22]。由于空管系统建设经费的来源不同，各自的需求和发展目标也不尽一致。因此在制定建设规划和实施方案中，军民航较少考虑对方或军民共用的需要；缺少

共同的技术标准。所以要加强军民航空管系统标准建设。如:建立军民航飞行计划处理系统,实现军民航飞行计划联网传输;重点地区和飞行繁忙地区建立军民航终端区,实现联合管制指挥运行,提高军民航空管运行效率。

2. 培训标准不统一

对空管人员进行统一培训是实现空管系统一体化目标的核心保障。但至今我国军民航空管人员的培训仍未形成统一的标准和要求。这样,空管人员在值班时,实行的是两套不同的系统和工作语言,人为地造成了空域信息交换和系统整合困难,从而不利于提高空域资源利用率,增加了军民航飞行矛盾。由于缺乏空域使用管理的共同语言,既容易造成平时难以沟通、又导致战时无法结合的后果。

2.1.2 空域规划研究不够

1. 军航使用下的空域研究不够深入

随着军航现代化的进一步发展,对空域的需求越来越大。机动能力的大幅跃升,对空域完整性也提出了更高的要求。由于历史原因,我国有一大批军航机场与民航机场相邻,不少军航训练空域在航路航线附近,军民航飞行需要经常穿越相互活动的空域,相互干扰大,造成空域极不完整。鉴于军航训练保密性和安全性的要求,较好的做法是在远离民航空域,设立专用的军航训练空域^[22]。近年来,由于缺少对军航专用训练空域的规划和建设,我国军航训练空域的建设明显缺乏和滞后。在实际运行中,军航多以驻场空域训练为主。而驻场空域一般相对窄小,条件有限,空域完整性不够,不利于多科目的飞行训练。同时驻场空域通常发展余地不大,不利更新扩展,难以形成适应现代化作战需要的训练条件,这将直接影响我国国防现代化发展的需要,所以要大力开展对军航使用下的空域需求和运行的研究,提高空域的利用效率。这不仅是国家经济建设的需要,更是新时期军事斗争准备的需要。

2. 现有空域结构体系不健全

当前,我国空域的使用未实现国际通行做法。目前我国空域使用方式实际上只有两种类型^[22]:即航路航线空域使用按民航空管的要求,其他空域使用按军航管制的要求。由于还没有对我国空域进行科学地分类,加上空域管理体制方面的原因,使得空域划设单一,存在着条块分割的现象。导致空域灵活分配和使用方面存在不足,空域使用效率不高。特别是由于军航任务性质的特殊性,使得在飞行活动中对航行诸元的要求较高,留空时间长,占用空域空间大,并在飞行繁忙地区频繁穿越航路航线,加深了与民航使用空域的矛盾。同时我国航路航线拐点、报告点多,飞行程序复杂,影响发挥空域使用效率和效益。

3. 空域利用率不高