

基于 AirTOP 的终端区及航路空域仿真

杨 超, 张 磊

(中国民用航空新疆空中交通管理局, 乌鲁木齐 830016)

摘要: 民航局仿真模拟技术指南仅给出了总体流程, 并未给出具体方法和细节。为实现基于计算机仿真模型的空域容量评估, 运用 AirTOP 软件, 以乌鲁木齐终端区和新疆地区航路空域为例, 给出了从明确研究目标到模型输出分析全流程的具体实践方法和技术细节, 论述了其他空域用户共同活动和未来多跑道运行等特殊场景应考虑的因素和注意事项, 研究表明运用上述方法得到的仿真模型符合实际, 输出的指标具备参考意义, 以为其他项目提供方法上的参考。

关键词: 仿真模拟; 空域仿真; 终端区; 扇区; 乌鲁木齐

中图分类号: V355 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)10-0258-10

基于计算机仿真模型的评估方法是通过对评估对象的结构和整体运行过程进行计算机仿真模拟来评估容量的方法。终端区及航路空域仿真通过构建航空器空域飞行航线、终端区进离场航线及相应的扇区, 在特定的飞行规则、管制协议、空管指挥负荷条件下, 分析评估空域的运行效率及容量。在欧美等民用航空发达国家, 机场仿真模拟技术已广泛应用于机场规划设计与日常运行管理之中, 其对于机场建设方案的比选、优化及运行管理模式的改进提升均具有重要意义。国外大型繁忙机场(如亚特兰大、奥黑尔机场等)以及中国香港机场, 通常建立有完备的机场现状仿真模型, 并聘请专业的咨询公司长期维护^[1]。2017 年民航局下发《仿真模拟技术在民用机场规划设计领域应用研究》, 2020 年民航局在《关于加强民用运输机场总体规划工作的指导意见》中指出要“综合运用大数据、仿真模拟、地理信息系统(geographic information system, GIS)等技术手段”^[2]。2022 年民航局在《智慧民航建设路线图》中指出“阶段目标是……完善基于全国一体运行的空域和机场容量评估办法, 定期开展行业运行保障能力综合评估, 实施空域和机场容量提升计划”^[3]。2024 年 3 月民航局就《机场容量评估技术规范》面向社会公开征求意见, 其中提到“2017 年民航局下发《机场时刻容量评估技术规范》为全国机场的时刻容量评估工作提供了指导。近几年, 编制单

位在机场容量评估的实际工作中积累了丰富经验, 在原文件基础上, 编制了本行业标准”^[4]。

对于编制单位(或评估单位), 2012 年罗军和王钰^[5]使用基于管制员工作负荷评估了北京终端区扇区容量; 2021 年李丘和尚锋^[6]运用 AirTOP 仿真评估了点融合飞行程序的运行效益; 2022 年孙毅^[7]运用 AirTOP 仿真分析了单跑道机场跑滑系统的理论容量和实际容量; 2023 年周密^[8]基于 AirTOP 分析了机场 U 形港湾式站坪的运行效率; 2024 年伍婷婷和张涵^[9]基于管制员工作负荷评估了新疆管制区域扇区的划设和容量; 在早期 2018 年王笑天和白乃贵^[10]、王哲^[11]基于 AirTOP 分别评估了武汉天河机场的空域容量和珠三角机场群航班增量的仿真研究。

综上, 我国对于机场仿真模拟技术的应用尚处于推广阶段, 发展空间广阔, 相关的评估办法、行业标准尚在制定或完善中, 近些年尚处于编制单位积累经验的过程。因此, 民航局公布的技术指南或行业标准(征求意见稿)仅给出了仿真模拟的总体过程和要求, 并未给出具体的实践方法和实际评估项目中需要考虑的特殊因素, 仅靠相关指南无法完成一个完整的评估项目。同时国内先前的研究成果一些是基于管制员工作负荷的容量评估方法(该方法区别于基于计算机仿真模型的评估, 同属于四种常见的容量评估方法之一), 一些是基于地面运行

收稿日期: 2024-03-19

基金项目: 民航新疆空管局科技项目(202347)

作者简介: 杨超(1987—), 男, 甘肃民乐人, 硕士, 主任工程师, 研究方向为飞行程序设计、飞机性能分析、容量仿真等航行业务; 张磊(1985—), 男, 内蒙古乌海人, 工程师, 研究方向为飞行程序设计、飞机性能分析、容量仿真等航行业务。

效率或飞行程序新技术实施前后的效益对比,还有一些是基于特定项目,其研究范围具体到某个机场空域,或某一片区实施单纯的航班增量影响研究。本文旨在以乌鲁木齐终端区和新疆地区航路空域的仿真研究为实例,将研究对象进行了拓展,既适合于终端区(机场)进离港航班容量的仿真,也涵盖了高空航路空域(终端管制扇区、区域管制扇区)的建模和相关指标研究。综合论述了如何运用当前主流的 AirTOP 软件实施仿真模拟的全流程:①资料采集的内容、来源;②模型如何建立,具体使用哪些模块;③模型使用哪些指标进行校验比较合适;④有军民航运行冲突或其他空域用户运行冲突时如何在模型进行体现;⑤单跑道机场和多跑道机场的模型差异性如何体现,具体技术细节和注意事项;⑥航班增量采取何种方法较为合理且快速准确,AirTOP 软件的输出结果如何进行分析,软件自带统计工具的缺点;⑦完整的项目报告宜给出哪些指标的结论,应提出哪些方面的建议。最终目标是能够为后续其他机场(终端区)和航路空域项目的仿真研究提供参考。

1 前期准备

机场仿真模拟的通用流程可分为前期准备阶段、建模实施阶段和分析评估阶段三个主要阶段,如图 1 所示。

1.1 明确研究目标

首先,根据当前所需解决的重点问题,设定仿真评估的研究目标,从而确定仿真研究的范围、深度和研究内容。

以实例来说,假定研究目标是评估乌鲁木齐机

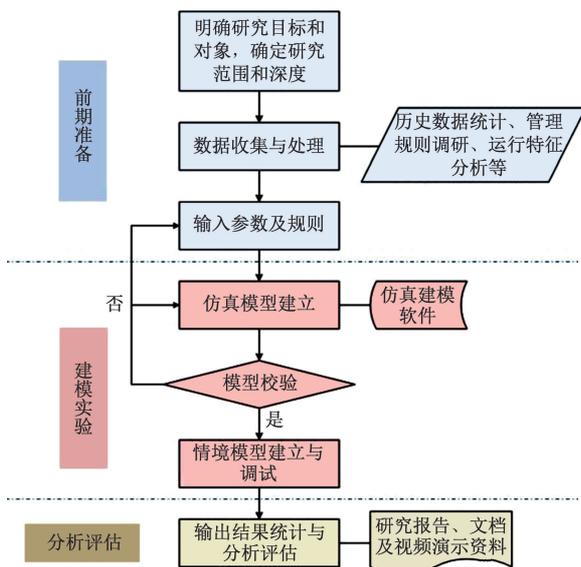


图 1 机场仿真模拟主要流程

场在航班量增加及其他空域用户活动的不同态势下的容量以及上述因素对区域管制扇区和终端管制扇区的影响程度,仿真研究的空间范围为乌鲁木齐终端区和区域扇区,研究深度为固定时间分布下的其他空域用户活动,研究内容为乌鲁木齐区域扇区的流量、终端区吞吐量变化以及延误变化等指标。

若只研究终端区内的机场容量,则无须构建区域扇区模型;若只研究空域规划方案的比选如航路航线的调整,则可以只构建航路空域模型,无须构建具体到航路沿线每个终端区的扇区模型,具体的研究深度以实际需求为主。

1.2 收集信息资料

根据研究内容和深度,调研、收集建模所需的信息资料,并对其进行归纳整理,如表 1 所示。获取相关信息的方式主要有交流座谈、现场调研、实地观测、问卷调查等。

最后,将归纳整理后的调研资料转换为模型可识别的输入参数和假设条件。

2 建模实施

2.1 选择仿真建模软件

目前商用的机场仿真模拟软件均由国外公司

表 1 所需信息资料及获取渠道

信息资料名称	具体内容	获取渠道
历史飞行计划	航班号、注册号、机型、计划起降时间、实际起降时间、起降目的地等	空管单位运行管理部门或机场运行管理部门
航行资料汇编	机场细则(跑道、导航设施等机场信息),空域信息(周边航路航线、终端管制区、区域管制区、周边机场信息),飞行程序	订购了 NAIP 的部门均可
其他空域用户信息	活动时间,对本场航线、高度的影响以及规避冲突的方法	空管单位管制部门
空管运行规则	相邻飞行情报区之间的移交协议、区域管制扇区和终端管制扇区之间的移交协议、关键点飞行速度和高度、进近管制间隔等	空管单位管制部门
跑道运行模式及不同跑道业务量分担比例	多跑道机场时须考虑跑道运行模式、及不同运行场景下的跑道业务量分担比例	空管单位管制部门和机场运行管理部门共同协商确定

注:NAIP 为中国民航国内航空资料汇编的简称。

研发,国内部分高校虽然开展了一些机场仿真模拟软件的开发工作,但仅限于学术研究层面,尚不具备商用推广的条件,也未得到一定规模的实践运行检验^[1]。早期的仿真建模软件主要有美国联邦航空局的 SIMMOD、美国波音公司的 TAAM、民航局空管局的 ASMES 系统。当前国内比较流行的是比利时 Airtopsoft 公司开发的快时仿真工具 AirTOP。该软件自上市以来,成功进入全球航空市场,主要客户有:德国空管局(DFS)、美国联邦航空管理局(FAA)、新加坡民航局(CAAS)、迪拜空管局(DANS)、法国空客(Airbus)、民航中南机场设计研究院等数十家大型机构与单位,在机场和空域的仿真以及实际容量的评估方面有较多的应用。AirTOP 中各个功能模块和术语均为英文,为便于参考使用,本文在介绍技术细节时直接使用其英文原名,避免因翻译或理解错误找不到相关模块的问题。同时 2022 年陈磊翻译了 AirTOP 软件使用手册^[12],可供参考。

2.2 仿真模型建立

2.2.1 确定评估场景

依据机场容量评估的基本条件,结合历史运行数据的分析确定机场容量评估的评估场景。评估场景分为基准运行场景和特定运行场景。

本实例根据项目需求,对乌鲁木齐机场终端区及航路空域的区域扇区容量评估构建如表 2 所示场景,分别研究了其他空域用户活动时现状跑道下的运行场景和 2025 年三条跑道隔离运行、相关平行仪表进近下的运行场景。

2.2.2 基准模型建立

AirTOP 软件中各类参数和条件均存储在不同的数据表(Table)中,均通过软件的各类数据表进行创建和编辑,文中所列英文术语均为 AirTOP 软件的各个数据表和功能模块。

(1) 创建机场。使用 Airport Table 模块建立需

要仿真模拟的相关机场,尤其注意结合航班时刻表,创建与航班计划相关联的国际、国内机场。实例中创建了与乌鲁木齐机场相关的国际、国内机场共 67 个,如图 2 所示。

#	ID	ICAOID	IAT
1	ZWWW		
2	ZBAA	ZBAA	PEK
3	ZBHH	ZBHH	HET
4	ZBOW	ZBOW	BAV
5	ZBSJ	ZBSJ	SJW
6	ZBTJ	ZBTJ	TSN
7	ZBYC	ZBYC	YCU
8	ZBYN	ZBYN	TYN
9	ZGGG	ZGGG	CAN
10	ZGHA	ZGHA	CSX
11	ZGSD	ZGSD	ZUH

图 2 与实例相关联的国际、国内机场

(2) 创建跑道。按照模块 Base_Runway Table → Runway Table 的先后顺序创建物理跑道和逻辑跑道,其中 1 个 Base Threshold 只允许 1 条逻辑跑道使用,之后使用 Safety Zone 功能创建升降带。

(3) 创建终端区空域和区域管制空域。按照模块 Polygon → Sector Block → ATC Sector 的先后顺序创建终端管制区和区域扇区,应注意通过扇区属性 Inclusion 的 In 和 Out 值明确终端管制区的实际管制高度范围,可以通过 Sector Vertical View 功能检查管制高度层设置是否有重叠。

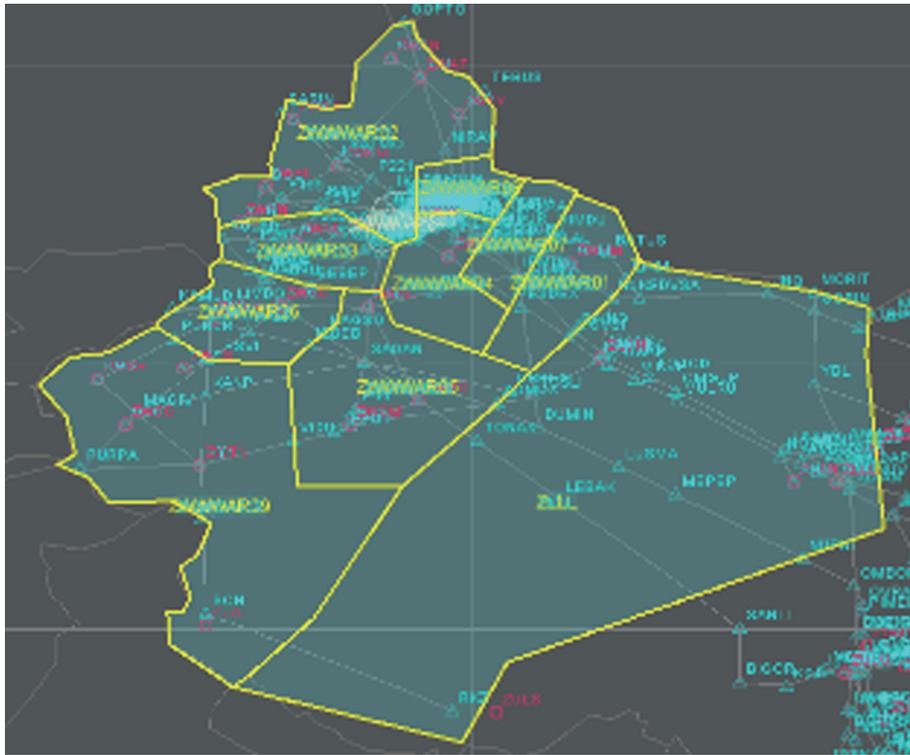
按照模块 ATS Route Table → Routing Table 的先后顺序创建航路航线和飞行计划航路,注意使用 Flusage 功能批量设置航路方向,要符合中国民用航空东单西双的飞行高度层要求。

实例中创建了乌鲁木齐终端区空域扇区 4 个,分别为 ZWWW. AP01—ZWWW. AP04,其中 ZWWW. AP01、ZWWW. AP02 为 3 600~6 000 m, ZWWW. AP03、ZWWW. AP04 为地面 GND—3 600 m;创建了新疆地区区域管制扇区 9 个,分别为 ZWWW. AR01—ZWWW. AP09,同时还创建了相邻的兰州情报区;创建了 150 条航路航线和与航班计划相对应的航线走向 469 条,如图 3 所示。

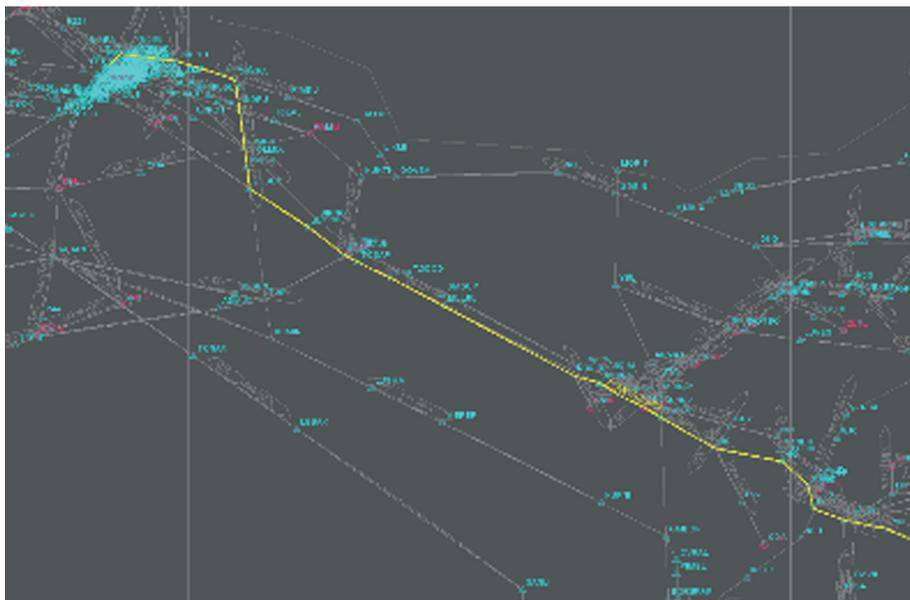
(4) 创建进离场飞行程序。使用 SID Table 和 Approach Leg Table 模块创建机场的仪表飞行程序。其中 SID Table 的格式类似于航行情报资料 NAIP 中的数据库编码表,Approach Leg Table 则是按进场进近顺序将标准仪表进场程序(STAR)与

表 2 评估场景

场景类别	跑道构型	使用跑道	其他用户是否活动	场景代号
基准运行场景	现状:单跑道	RWY25	否	Base_West
		RWY07	否	Base_East
特定运行场景	现状:单跑道	RWY25	是	Other_West
		RWY07	是	Other_East
	未来:三跑道 (2025年)	RWY25、 26L、26R	否	3_West
		RWY07、 08L、08R	否	3_East
		是	3_Other_E	



(a) 新疆地区区域管制扇区



(b) 航路航线结构

图3 新疆地区区域扇区和航路航线

仪表进近程序(APPCH)统一在一起。使用 Maneuver 功能设置雷达引导区(管制指挥机动区),使用 Radar Controller 功能创建终端区和航路空域管制员,实例中共创建了 36 条离场程序和 RNAV 进场进近程序。

(5)创建管制间隔、放行限制和移交协议。按照模块 Traffic Volume Table→Netqueue Table 的先后顺序创建管制规则,对终端管制和区域管制移

交间隔、相邻情报区移交进行限制。通过模块 SID Table 的 Active 属性配置默认的离场程序,使用模块 Wake Turbulence Separation Table 创建符合 CAAC 规则的尾流间隔,在此基础上使用模块 Dependency Table 创建其他放行间隔限制,分为 4 个部分:①连续起飞航空器之间的间隔(Dep_Aft_Dep);②连续进近落地航空器之间的间隔(Arr_Aft_Arr);③落地航空器后接起飞航空器的间隔(Dep_

Aft_Arr);④进近航空器之间穿插起飞航空器的间隔(Arr_Aft_Dep),也可结合模块 Waypoint Rule 对航空器经过某个航路点的间隔进行限制。

(6)创建航班计划。根据航班时刻表,通过模块 Flight Plan Table 创建航班计划,对于大型枢纽机场航班计划数据量通常比较大,推荐使用.csv 文件直接导入,至少需要包括航班号、机号、机型、计划起飞/降落时间、航班计划起飞/降落机场等信息。本实例中导入了1 005条航班计划,其中291架进港、296架出港、232架新疆航路空域飞行的国内航班、186架新疆航路空域飞行的国际航班。

2.3 模型校验

模型校验的方式主要有两种:①播放视频演示,并结合初步运行分析结果,借助运行管理人员经验进行排错;②结合基础模型(现状模型)得出的关键运行指标数据,与历史运行统计数据进行比较,找出差异及原因,进一步对模型进行修正和调试。通过多轮次的对比、分析和调试,最终完善仿真基础模型。

实例中,经多次调试,得到乌鲁木齐机场 RWY25 仿真航迹如图4所示,图中粉色为乌鲁木齐终端区离港航迹、绿色为进港航迹、黄色为航路空域飞越航迹,并根据下列指标与历史数据对比、调试和迭代。

2.3.1 全天吞吐量

如图5所示,每一个时间段(整点前1h内)基准模型仿真的乌鲁木齐终端区离港航班、进港航

班、全天吞吐量(离港+进港)都与历史统计数据趋于一致。

2.3.2 高峰小时架次

根据每一步长(10 min)对一个周期(1 h)内的航班架次进行统计分析,可以得到高峰小时架次图(图6)。

由图6可知,基准模型仿真的高峰小时航班架次与乌鲁木齐终端区历史数据走势基本一致。仿真模型离场高峰小时架次最大为28架次,为上午07:40—08:40早高峰;进港高峰小时架次最大为27架次,为凌晨01:00—02:00,即凌晨回港高峰;离场&进场高峰小时架次最大为35架次,为下午12:50—14:10和15:40—16:30。

2.3.3 延误水平

对终端区进离港的每架次航班延误统计后,本文中乌鲁木齐终端区小时平均延误00:14:51,全天平均延误00:08:39,已经处于极限阈值。需要注意的是,AirTOP中记录的延误有很多种类,应根据自身项目的实际需求和目的进行统计,常用延误间的关系可以参考式(1)~式(4)。

$$\text{Delay}_{\text{Sequence}} = \text{Delay}_{\text{Holding}} + \text{Delay}_{\text{SequenceNonHolding}} \quad (1)$$

$$\text{Delay}_{\text{Arrival}} = \text{Delay}_{\text{Sequence}} + \text{Delay}_{\text{Enroute}} \quad (2)$$

$$\text{Delay}_{\text{Arr_Total}} = \text{Delay}_{\text{Arrival}} + \text{Delay}_{\text{Taxi}} \quad (3)$$

$$\text{Delay}_{\text{Dep_Total}} = \text{Delay}_{\text{Gate}} + \text{Delay}_{\text{Taxi}} + \text{Delay}_{\text{Runway}} \quad (4)$$

式中: $\text{Delay}_{\text{sequence}}$ 为排队延误; $\text{Delay}_{\text{Holding}}$ 为等待延误; $\text{Delay}_{\text{SequenceNonHolding}}$ 为排队时的非等待延误,通常

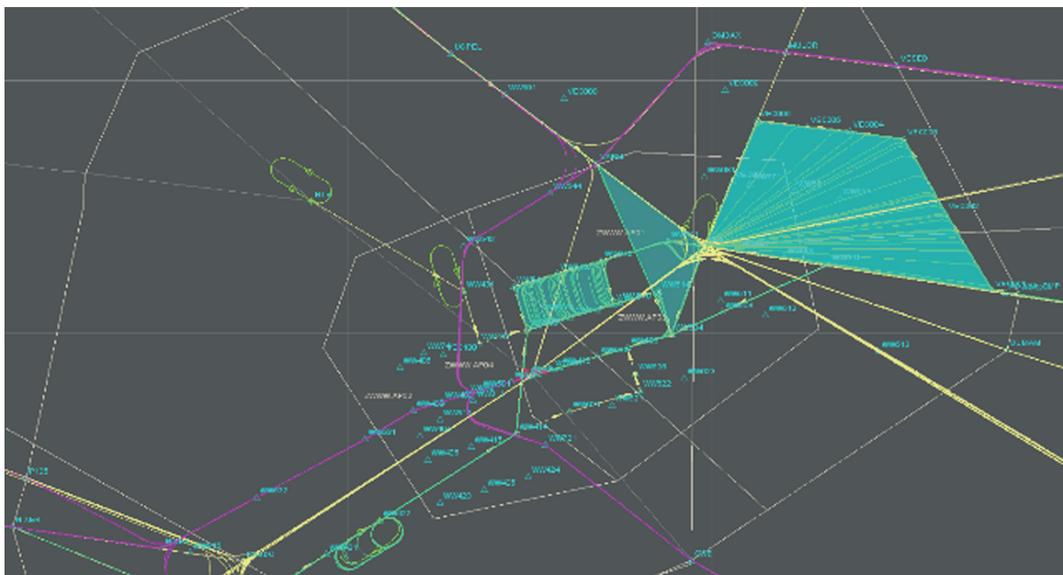


图4 基准模型 RWY25 仿真航迹

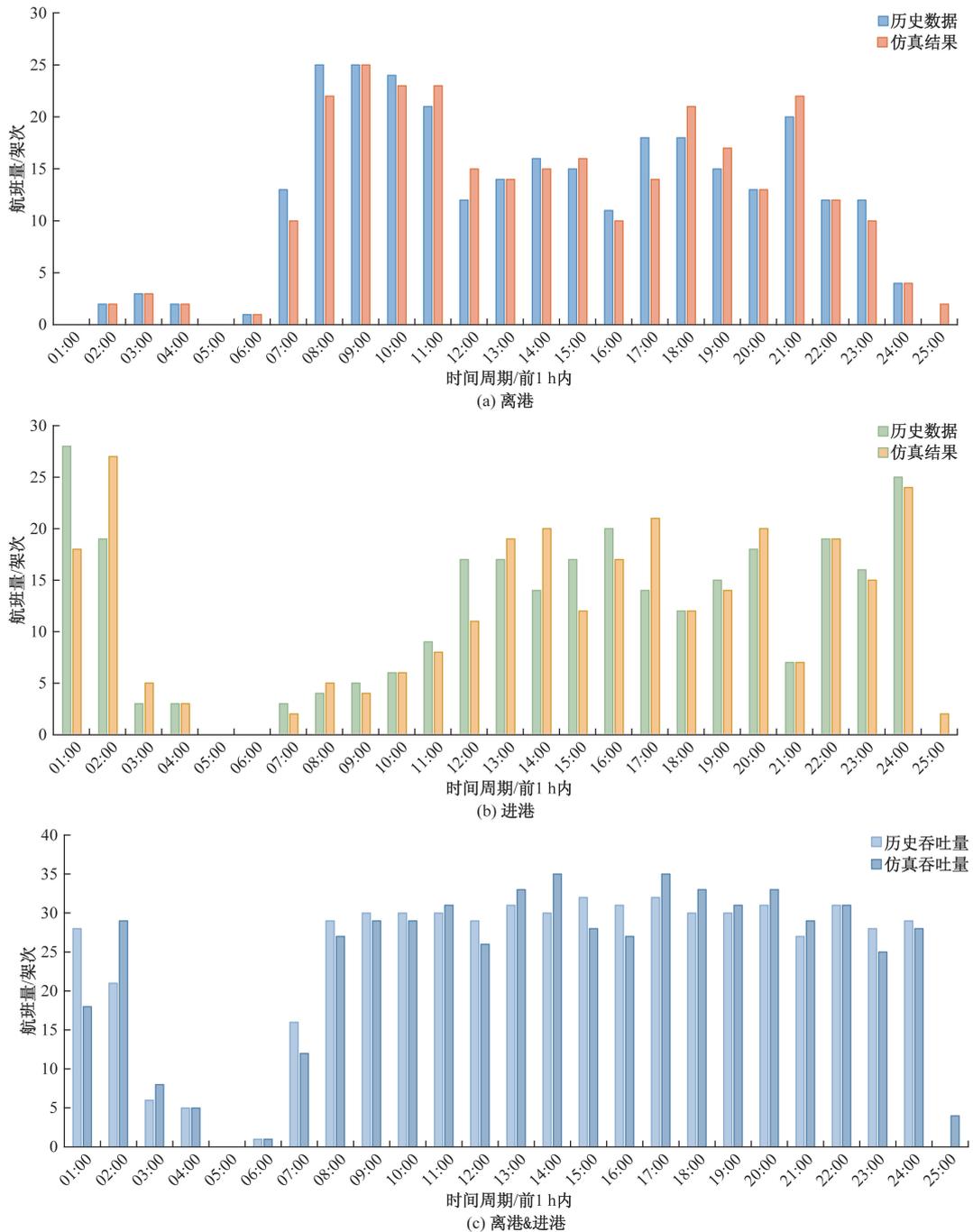


图5 全天吞吐量指标对比

为改航或机动引导等引起; $Delay_{Arrival}$ 为进港航空器的空中延误; $Delay_{Enroute}$ 为航路延误; $Delay_{Arr_Total}$ 为进港航空器总延误; $Delay_{Taxi}$ 为滑行延误; $Delay_{Dep_Total}$ 为离港航空器总延误; $Delay_{Gate}$ 为机坪(停机位)延误; $Delay_{Runway}$ 为跑道端排序延误。

2.3.4 模型校验结论

如上所述,经过反复调试、分析、完善后,对关键运行指标与历史数据比对得到如下结论:

(1) 仿真基准模型全天吞吐量架次与历史统计

数据总量一致,趋势基本一致。

(2) 仿真基准模型高峰小时架次为离港 28、进港 27,进港 & 离港合计时为 35,该数据经走访调研管制部门,与实际管制指挥时的情况基本一致:进港为 25~26 架次,进离港均衡时最大架次为 38。

(3) 仿真基准模型全天平均延误达到阈值 8 min,小时平均延误最大 00:14:51,接近阈值 15 min,处于极限水平。与乌鲁木齐机场单日起降架次屡创历史新高和三跑道改扩建工程加快实施



图6 高峰小时架次指标对比

的现实一致。

因此,可以认为基准模型参数设置正确,且能够正常运行符合实际。

2.4 情景模型建立与调试

在已完成校验基准模型的基础上,根据特定运行场景特点,调整静态模型、运行规则或其他关键参数设置,通过模型运行调试,构建有无其他空域用户活动以及不同跑道时的特定场景模型。

2.4.1 其他空域用户活动

有军民航运行冲突或其他空域用户共同运行冲突时,或者因天气原因等对本场起降有限制时,在模型中的变化主要体现在飞行程序、管制间隔、放行限制三个方面。需要注意的是由于 AirTOP 在模拟到设定的时间才开始触发条件并执行新的规则,此时如果已经在放行决策系统中发布许可的航空器仍会继续沿之前分配的飞行程序飞行,不符合现实情况,因此触发时间需要根据经验考虑一个提前量,如 15~30 min。

本文中其他空域用户的活动时间为 10:30—15:00,活动时离场程序仅允许使用 18D 且 A 方向禁用;其他时间段使用 19D 离港。通过模块 Condition Table 为标准仪表离场程序 SID 配置不同的条件 Condition,活动时间设定为 10:00—14:40。

管制间隔和放行限制通常会增大,需要在模块 Netqueue 中创建规则并为各种情况配置 Condition。

通过模块 Configuration Table 控制不同跑道切换时的飞行程序、间隔限制等。

2.4.2 多跑道运行

多跑道运行时需要重点注意的是放行限制的配置,需要通过模块 Dependency Table 配置同跑道自身、不同跑道之间的各类间隔关系。当进近模式为相关平行进近时还应通过模块 Staggered Run-

way Separation 配置侧向雷达间隔,尤其要注意根据跑道构型考虑跑道入口向前(后)错开的间距对于间隔的影响因素。本文中分析了 2025 年三跑道同时运行时特定飞行程序时的容量,对该版本相关平行进近运行模式要求的间隔进行了配置(侧向间隔为 8 km)。

3 分析评估

分析评估的目的是根据项目研究目标,对仿真模型输出结果进行统计分析,得出通用性的仿真运行效率评估指标和重点关注的运行指标测算结果。对仿真中发现的问题或运行瓶颈,给出设计或运行优化建议,最终形成仿真模拟研究报告、文档或视频演示资料。

3.1 航班计划调整

在评估场景建立好后,依据典型繁忙日航班计划,对航班计划进行调整(增加或减少)处理,得到全天各个时段进离场航班计划架次分布,主要通过 AirTOP 的 Traffic Increase 功能实现,并对已建好的模型进行仿真,在保证模型通畅无堵塞的情况下,来找到不满足研究目标或关键运行指标的极限值。

3.2 指标输出与统计分析

通过迭代调整或结合延误趋势拟合预测,如图 7 所示,输出各场景满足“可接受延误水平”等的计算机仿真容量结果,如小时最大起降架次、小时最大起飞架次、小时最大降落架次、扇区流量等所需要的指标。

通过两种方法可以得到上述指标:① AirTOP 自带的 Report 模块,该模块生成的报告涵盖了大部分常用指标,缺点是输出结果图形不美观,样式单一,调整不方便,缺少一些项目实际需要或用户定制化的指标;② 使用模块 WATCH 和 CHANGE WATCH 在仿真的过程中监视和记录指标,优点是

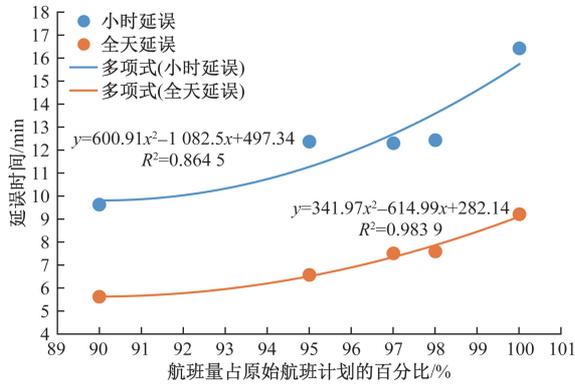


图7 延误趋势

可以任意组合搭配需要统计的指标,其中 WATCH 负责静态统计,CHANGE WATCH 负责数据发生变化时统计,生成的结果为 .CSV 格式,易于通过 Excel 工具进行数据透视和制图,可以得到较为美观的演示结果。

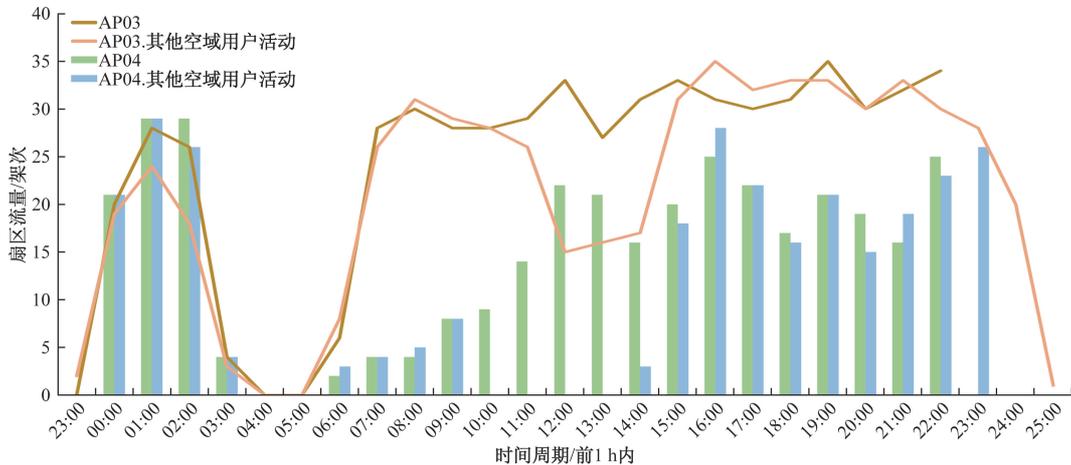


图8 其他空域用户活动对扇区流量的影响

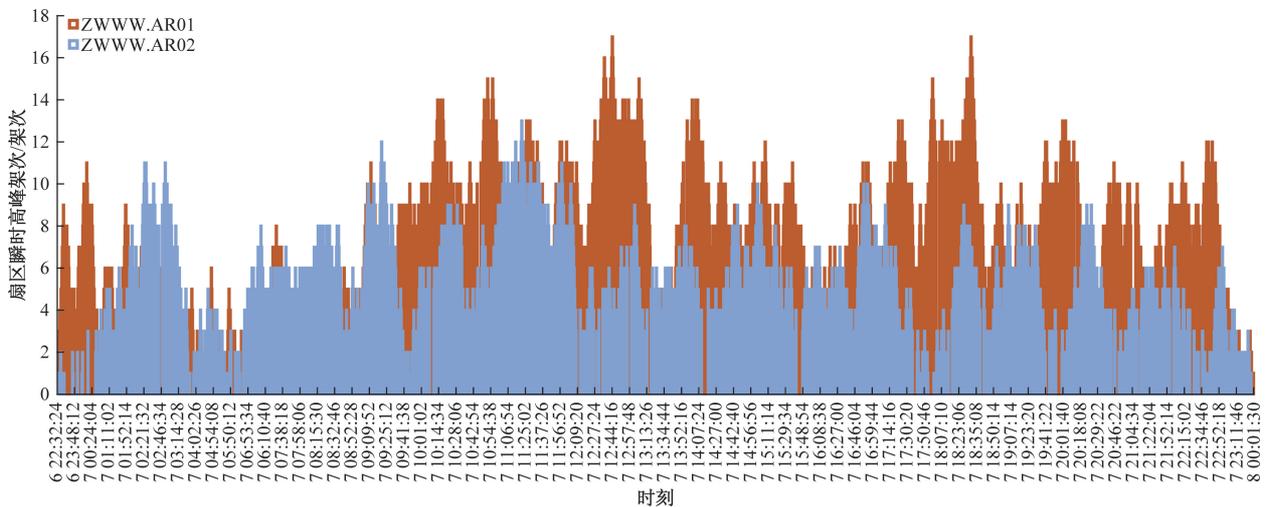


图9 扇区瞬时高峰架次

除了前述的延误水平、全天吞吐量、高峰小时架次等指标,本文还结合项目需求研究了管制扇区运行指标,即扇区流量和扇区瞬时高峰架次。通过统计分析还可以得出其他空域用户活动对任意扇区流量的影响(图8),可以看出其他空域用户活动期间,乌鲁木齐进近管制扇区 AP04 和 AP03 的流量均有显著下降,15:00 活动结束后随着新疆东线进港流和增量航班,扇区流量显著增加。

同样可得出任意扇区瞬时高峰架次(图9),新疆区域管制扇区中 AR01 的瞬时高峰架次最大,为 17 架次。

3.3 得到研究结论和建议

最终根据各场景容量结果,综合得到基于计算机仿真模型的容量评估结果,如表3和表4示例所示。

表3 吞吐量、高峰小时架次(示例)

场景模型	吞吐量/ 架次	高峰小时架次		
		离场	进场	离场 & 进场
RWY07	587	28	27	39
RWY07 有活动	528	—	—	37
三跑道向东运行	576	31	27	45
三跑道向东有活动	555	—	—	50

表4 扇区流量示例

场景模型	进近扇区		区域扇区	
	小时高峰	瞬时架次	小时高峰	瞬时架次
RWY07	35	8	43	17
RWY07 有活动	35	7	42	17
三跑道向东运行	62	12	43	16
三跑道向东有活动	74	12	43	16

本文评估项目通过对仿真结果和各项数据的统计分析,得出以下结论(摘录)。

(1)其他空域用户活动对于 RWY07 和三跑道向东运行有显著影响,活动时间段内无法实施着陆。

(2)其他空域用户持续存在的情况下,三跑道向东运行和现有单跑道(RWY07)容量相比基本无提升;甚至由于当前版本的飞行程序进场点的增加和机动空域的减小,其容量有所下降。

在研究报告中可以提出在现行规划的空域结构下进一步优化飞行程序,与管制员探讨向东运行时扩展进港航班流机动空间等诸如此类的优化建议。

4 结论

文中实例的主要目的是辅助说明基于 AirTOP 仿真模拟全流程的具体方法和技术细节,演示关键运行指标和提供输出成果的范例,因此仅做摘录。根据上述方法:①校验后的基准模型仿真成果经调研访谈符合管制实际情况,扇区流量成果符合新疆地区空域运行态势分析报告;②特殊情景(如 2025 多跑道运行)仿真成果与空管和机场相关部门预测一致,优化建议和空域协调建议得到了飞行程序设计部门和管制部门的认可。经过对比,文中仿真流程和推荐的关键运行指标符合尚在征求意见的行业标准《机场容量评估技术规范》。

基于计算机仿真模型的评估方法更多地适用于相对方案的比选和优化,应区分它与时刻容量评估的区别;同时也应区分航班时刻安排容量、管制容量^[13]、机场运行容量、机场航班时刻容量、机场容量评估等的概念。对于不同的容量评估范围、目标、对象,结合相应的技术指南、标准,运用层次分

析法、权重分析法、数学模型等多种方法综合进行评估分析,为决策者提供科学的参考。根据民航局规划,2025 年加快构建空域数字化,利用数字化航班运行仿真环境,开展运行仿真试验和融合能力评估;2035 年实现全国数字化管制服务,推广航班全流程四维航迹运行,实现基于算力的新一代空中交通管理系统运行^[8],可以预见机场和空域仿真模拟技术在 2035 年以前仍将是智慧民航建设不可或缺的一部分,期待行业标准和国产评估系统(软件)的早日面市,也期待更多关于空侧陆侧协同评估(包含航站楼、交通系统等)、高原机场运行、冬季特殊天气运行等精细度和仿真度更高的模型和技术资料公布。

参考文献

- [1] 中国民用航空局. 仿真模拟技术在民用机场规划设计领域应用研究[S]. 北京:中国民航出版社有限公司, 2020.
- [2] 民航局机场司. 民航局关于加强民用运输机场总体规划工作的指导意见[EB/OL]. www.caac.gov.cn/PHONE/XXGK_17/XXGK/ZFGW/2020004/t20200416_202077.html.
- [3] 民航局政策司. 中国民用航空局关于印发智慧民航建设路线图的通知[EB/OL]. www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/ZCFB/202201/p020220121596946741010.pdf.
- [4] 民航局航空器适航审定司. 关于征求民航行业标准《机场容量评估技术规范(征求意见稿)》意见的函[EB/OL]. http://app.caac.gov.cn/HDJL/YJZJ/202403/t20240326_233314.html.
- [5] 罗军,王钰. 北京终端区扇区容量评估及优化[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(33): 8967-8970.
- [6] 李丘,尚锋. 基于 AirTOP 的区域点融合程序运行效益评估[J]. 飞机设计, 2021, 41(2): 77-80.
- [7] 孙毅. 基于 AirTOP 的单跑道机场系统容量仿真分析[J]. 中国科技信息, 2022(2): 33-35.
- [8] 周密. 基于 AirTOP 的机场 U 型港湾式站坪运行效率分析[J]. 交通与港航, 2023, 10(4): 89-93.
- [9] 伍婷婷,张涵. 新疆管制区域扇区容量评估与划设研究[J]. 航空工程进展, 2024, 15(2): 56-65.
- [10] 王笑天,白乃贵. 基于 AirTOP 的武汉天河国际机场空域容量仿真评估[J]. 飞机设计, 2018, 38(1): 72-75.
- [11] 王哲,李丘,杨子晴. 基于 AirTOP 的珠三角机场群航班增量仿真研究——以广州白云机场为例[J]. 科技和产业, 2018, 18(7): 53-56.
- [12] 陈磊. AirTOP 软件使用手册翻译实践报告[D]. 广汉:中国民用航空飞行学院, 2022.
- [13] 民航局空管办. 空中交通管制容量评估管理规定[EB/OL]. www.caac.gov.cn/PHONE/XXGK_17/XXGK/GFXWJ/202401/P020240105314466773084.pdf.

Terminal Area and Route Airspace Simulation Based on AirTOP

YANG Chao, ZHANG Lei

(Xinjiang Air Traffic Management Bureau of CAAC, Urumqi 830016, China)

Abstract: The simulation technical guide of the Civil Aviation Administration only provides the overall process, but does not provide specific methods and details. In order to achieve airspace capacity assessment based on computer simulation models, the AirTOP software was used to take Urumqi terminal area and Xinjiang region airspace as examples. The specific practical methods and technical details from the clear research objectives to the whole process of model output analysis were given. The elements and precautions that should be considered in other special scenarios such as common activities of other airspace users and future multi-runway operation were discussed. The research shows that the simulation model obtained by using the above methods is consistent with reality, and the output indicators have reference significance, in order to provide methodological reference for other projects.

Keywords: simulation; airspace simulation; terminal area; sector; Urumqi