

基于航迹运行在乌鲁木齐终端区的应用研究

许丹伟

中国民用航空新疆空中交通管理局, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年10月8日; 录用日期: 2023年1月12日; 发布日期: 2023年1月28日

摘要

随着中国民用航空的不断发展, 现有的空中交通管理技术也要与民航业的发展相适应。基于航迹运行是新一代空中交通管理系统的核心技术。文章介绍TBO技术及TBO技术在我国试验运行的具体情况, 分析了TBO技术在乌鲁木齐终端区的应用前景。

关键词

空管技术, 乌鲁木齐终端区, 基于航迹运行

Application Research Based on Trajectory Based Operation in Urumqi Terminal Area

Danwei Xu

Xinjiang Air Traffic Management Bureau, CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: Oct. 8th, 2022; accepted: Jan. 12th, 2023; published: Jan. 28th, 2023

Abstract

With the continuous development of China's civil aviation, the existing air traffic management technology should also adapt to the development of the civil aviation industry. Trajectory based operation is the core technology of the new generation air traffic management system. This paper introduces TBO technology and the practical situation of TBO technology in China, and analyzes the application prospect of TBO technology in Urumqi terminal area.

Keywords

ATC Technology, Urumqi Terminal Area, Trajectory Based Operation



1. 引言

十三五期间随着我国经济的发展,中国民航也迎来了前所未有的发展高潮。2015年至2019年,旅客运输量增加了2.2亿人次,年均增长10.7%。旅客周转量在综合交通中的比重从2015年的24.2%提高到33.1% [1]。中国民航市场潜力巨大,航线、通航城市不断增加,航空公司机队规模不断扩大,但随着民航业的不断发展,也暴露出了一些问题,机场、航空器、保障设施这些硬件可以通过基础设施投资迅速完成建设,但我们的空中交通管理水平是否与民航建设水平发展步调一致。欧美发达国家在本世纪之初就已经意识到目前的空中交通管理系统已经与民航发展不相适应,由此欧美两大民航运行标准体系都提出了自己的下一代空中交通管理系统。我国也再2007提出了下一代空中交通管理系统的规划其中明确提出中国新一代空中交通管理系统理念的主要内容即为TBO,强调以先进技术作为支撑,促进我国民航事业更快、更好和可持续发展。

2. TBO 技术介绍

TBO (Trajectory Based operation)运行概念由国际民航组织2005年提出。以航空器全运行周期的四维航迹(4 Dimensional Trajectory, 4DT)为基础,在空管、航空公司、机场、航空器等相关参与方之间实时共享和动态维护航迹动态信息,通过协同决策对航班全运行周期的四维航迹进行管理,实现航班的精细化运行,提高空管系统运行保障能力和空中交通运行效率[2]。相比于现在运行的CDM协同决策系统,TBO是基于航空器的四维航迹而且是动态信息,而CDM是依据民航各个部门包括:空管、航空公司、机场的运行状况进行综合评估进行的决策,决策虽然做到各个部门的信息共享和协同决策,但是没有考虑运行主体航空器的状态,同时协同决策不具备实时更新的功能他是综合各种因素后对未来的一种预测,在未来的一段时间内都将执行这个决策无重大影响因素一般不会实时更新。换句话说协同决策系统是有一定的决策惯性,而TBO是依据航空器四维航迹实时更新的决策[3]。

3. TBO 在终端区应用现状

终端管制区是航路运行阶段与机场地面运行之间的过渡区域,TBO技术目前应用在终端管制区主要是在受到其他因素影响时触发新的航迹意图实现航迹更改,其中主要包括两个方向,一是优化进离场排序提升航班时序使用效率。另一个是提升多机冲突解脱效率达到冲突解脱全局效果最优。

3.1. 优化排序提升效率

航班运行效率是评价终端区运行是否科学合理的一个重要指标因素。TBO技术可以解决运行层面存在的问题提升终端区运行效率。在优化进离场排序提高运行效率这一应用方向又分为两个方向,一是在现有空域结构不变的基础上进行排序优化提升时序运行效率,利用TBO技术可以实时传输四维航迹动态,这就使得预计落地时间和预计空中飞行时间成为一个精准的数值,因此很多机场使用启发式算法研究解决交通拥堵和寻求流量解决方案,也有机场使用动态离散交通流模型解决时隙分配问题。另一个方向是重构空域结构对交通流进行重构优化并将优化前后的数据进行比对提出空域结构改变的提议。这一优化方向主要是使用TBO技术可以在技术许可的范围内进行航迹调整,这就使得空域利用效率提升成为可能。多个机场利用位置及时间窗约束的航空器进场路径选择与排序模型求得最优解,显著缩短了进场用时。

3.2. 提升多机冲突解脱效率

飞行冲突多是终端管制区运行的一大特点，现有运行条件下终端区管制员的工作主要是进离场排序和冲突调配。终端区的飞行冲突具有冲突影响大、处置时间短、告警提示晚等特点，一旦出现冲突解脱对空管运行安全就是一次非常大的挑战。在冲突解脱中多架航空器的冲突解脱效率不高，一直是研究的热点和难点，TBO 技术因为可以实时输出四维数据，为多机冲突解脱提供了新的解决思路，国内部分机场已完成基于 TBO 技术的冲突仿真试验环境，其仿真思路是基于四维航迹数据的航迹预测实现冲突预测，预测冲突被引入由垂直航迹冲突解脱模型和水平航迹冲突解脱模型共同构建的混合冲突解脱模型中，通过仿真试给出更加科学的多机冲突解决方案提升管制效率。

4. TBO 技术在乌鲁木齐终端区应用

4.1. 乌鲁木齐终端应用方向

TBO 技术在乌鲁木齐终端区主要应用的方向是 TBO 技术可以在技术许可的范围内进行航迹调整，可以充分提高空域的利用效率，缩短航班滞空时间，为后期空域优化提供建议。航空器到达终端区边界后会进行 TBO 数据测算和四维冲突预测，实际运行中会体现在 A-MAN (进场管理系统)，如果需要延迟落地时间则进行水平间隔调整，如果不许要延迟落地就可以选择最佳航迹运行。四维冲突预测的限制条件包括：进离场程序、雷达引导区、等待空域、落地间隔、水平间隔、垂直间隔、速度调整限制等条件。评价终端区运行效率最重要的指标是航空器滞空时间，所以将目标函数设定为航空器滞空时间最短(图 1)。

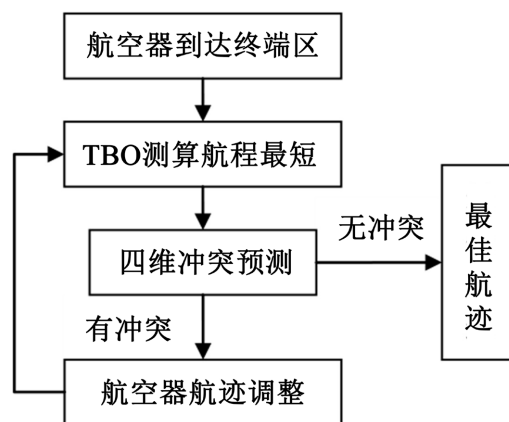


Figure 1. Schematic diagram of TBO technology application

图 1. TBO 技术应用示意图

4.2. 基于 AIRTOP 软件的模拟运行

为了清晰了解 TBO 技术对终端区效率提升起到的作用，引入了 AIRTOP 模拟软件，AIRTOP 软件是比利时 AIRTOPSOFT 公司开发的空中交通管制模拟运行软件，可以对终端区的运行环境进行模拟，基于用户自定义的运行约束条件，在仿真运行环境中进行智能动态决策，适用于管制空域规划、扇区流量评估、管制员工作负荷分析、机场运行容量评估、进离场航班冲突评估等问题，解决空中交通管制要素难以量化的难题。首先对乌鲁木齐终端管制区进行 AIRTOP 建模，将进场程序、航路、管制区边界、运行约束条件等数据信息导入 AIRTOP 软件，搭建现行乌鲁木齐终端区运行仿真场景如图 2。乌鲁木齐终端

区运行进场小时高峰 23 架次，为了尽量确保仿真数据与运行数据一致我们选取了 2019 年乌鲁木齐终端某晚高峰的运行数据作为仿真测试数据，当日全天运行架次 558 架次在乌鲁木齐终端属于航空器架次较高的运行场景，所选的时段为 23 点 - 次日零点，该时段为当日航空器进港最高峰。在数据准备过程中主要选择航班号、进入终端时间、使用机场场程序等数据进行 AIRTOP 模拟分析，数据参见表 1。

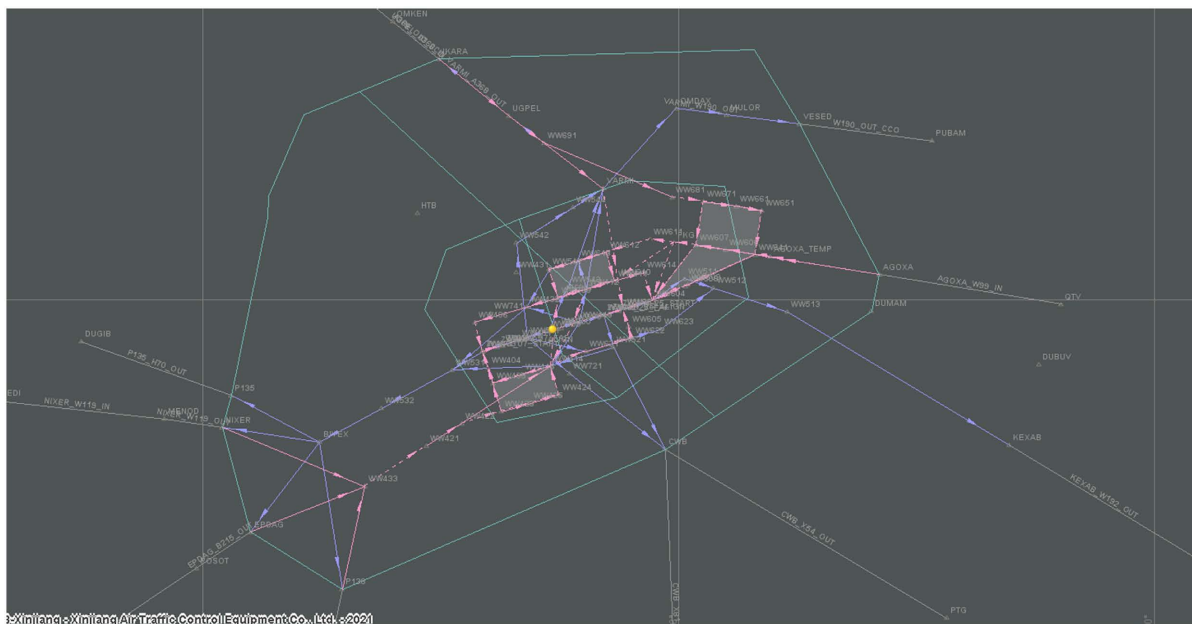


Figure 2. Simulation operation diagram of Urumqi terminal
图 2. 乌鲁木齐终端仿真运行图

Table 1. Simulation data of arrival time of Urumqi terminal
表 1. 乌鲁木齐终端进港时刻仿真数据

编号	航班号	进入终端时间	进场程序
1	CYZ9127	2300	AGOXA-17
2	CES2398	2302	AGOXA-17
3	CDC8667	2305	AGOXA-17
4	CUH2554	2308	AGOXA-17
5	GCR7556	2311	UGPEL-17
6	CSN3435	2312	AGOXA-17
7	CSN6972	2314	AGOXA-17
8	CSN6822	2316	EPDAG-18
9	CSN6824	2318	EPDAG-18
10	GCR7494	2318	AGOXA-17
11	CSN6678	2319	UGPEL-17
12	CQH6368	2321	AGOXA-17
13	CUH2504	2324	AGOXA-17

Continued

14	CSN6982	2325	AGOXA-17
15	CSN5688	2325	EPDAG-18
16	OKA2933	2328	AGOXA-17
17	CSN6960	2332	AGOXA-17
18	CSN2364	2334	AGOXA-17
19	CSN6962	2339	AGOXA-17
20	CUH2582	2340	EPDAG-18
21	CSN6910	2343	AGOXA-17
22	CSN6814	2345	EPDAG-18
23	CSN6842	2345	UGPEL-17

4.3. 仿真结果比对分析

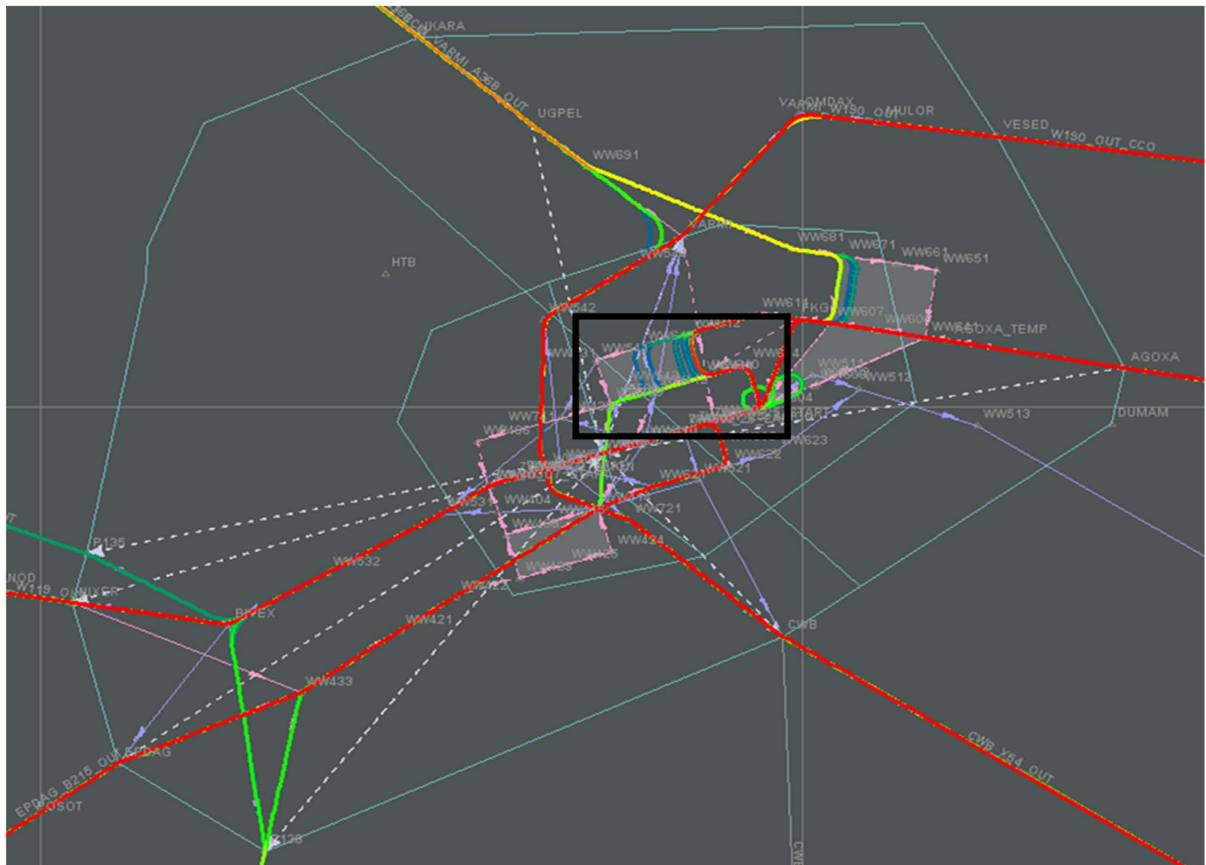


Figure 3. Thermal map of actual running track
图 3. 实际运行轨迹热力图

基于之前构建的 AIRTOP 仿真环境，以 2019 年某日乌鲁木齐终端晚高峰的 23 点 - 次日零点的 23 架航班数据作为输入数据，经过 AIRTOP 软件仿真分析可生成航空器运行轨迹热力图，航空器运行轨迹热力图可清晰表征航空器运行轨迹。对比应用 TBO 技术前后的运行轨迹热力图可以发现航迹优化集中于



Figure 4. Thermal map of simulation running track after applying TBO technology
图 4. 应用 TBO 技术后的仿真运行轨迹热力图

AGOXA-17 进场程序和 UGPEL-17 进场程序 FKG 之后的航段，图 3 和图 4 中黑色方框标注部分，未应用 TBO 技术时多架航空器会在 FKG 之后会延长程序至 WW541 附近，延长程序是因为前期没有进行四维冲突预测，航空器到低高度后不得不延长程序满足安全运行间隔。而使用 TBO 技术可进行四维航迹冲突预测，进行进场排序预测优化落地次序充分利用间隔，可以减少低高度延长程序飞行时间，同时可以进行航迹优化表现在此次仿真运行中如图 4，航空器在 WW612 附近就跳点直飞缩短航空器滞空时间。应用 TBO 技术后在小时进港流量达到峰值 23 架次时，航空器滞空总时长为 26,953 秒，而当日未应用 TBO 技术实际航空器滞空时间为 27,634 秒。应用 TBO 技术后航空器滞空总时长减少 681 秒，整体运行效率提升 2.46%。

5. 结语

TBO 技术作为我国下一代空中交通管制系统的关键技术，在提升终端管制区运行效率方面有很明显的作用。将乌鲁木齐终端高峰时段实际运行数据进行 AIRTOP 模拟仿真运行，将 TBO 运行数据与传统数据进行比对分析，即使在扇区已满负荷运行的情况下运行效率仍然有所提升。本次研究聚焦于航班集中进港阶段，现在下一步研究中可以尝试探索 TBO 技术在进离场航班流量均衡阶段所起到的作用。TBO 技术的核心在于对实时提供的四维航迹数据的利用，在以后的研究中应更加关注实航空器的四维航迹数据，怎样利用这些核心数据是未来研究的主要方向。

参考文献

- [1] 中国民用航空总局. 中国民用航空发展第十三个五年规划[EB/OL].
<http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/ZCFB/201702/P020170215595539950195.pdf>, 2016-12-01.
- [2] 国际民航组织. 第十三次空中航行会议报告[R]. 蒙特利尔: 国际民航组织, 2018-10-09.
- [3] 严勇杰, 曹昱. 下一代空管系统运行概念及其关键技术[J]. 指挥信息系统与技术, 2018, 9(3): 8-17.