



中国民用航空局

Civil Aviation Administration of China

基于机场运行效率分析的

A-CDM 经济效益评估报告



民航局运行监控中心

2021年12月

前言

自 2012 年起，A-CDM 系统的建设在我国民航业内已经形成普遍共识，陆续在华北、华东、中南地区的部分机场开发建设。2016 年 10 月，民航局召开全国民航科技创新大会，正式明确了 A-CDM 系统建设对提升民航运行效率、加强民航三大主体间的协同具有重要推进作用。2017 年 8 月民航局发布《关于进一步统筹推进机场协同决策（A-CDM）建设的通知》，明确了 A-CDM 建设路线图，以旅客吞吐量为基准划分民用运输机场，对不同级别的机场提出了 A-CDM 建设要求。为规范行业的 A-CDM 建设工作，民航局运行监控中心于 2018 年先后制定了《机场协同决策实施规范（试行）》（民航发[2018]68 号）和《机场协同决策建设评估办法（试行）》（民航发[2018]99 号）。同年底，在运行监控中心的牵头下完成了 A-CDM 评估组的组建，成员主要来自运行监控中心、机场司、空管办、空管局、各地区管理局、民航科学技术研究院、民航管理干部学院、民航局第二研究所、中航信和飞友科技等单位，随后陆续完成了全国 40 个千万级机场的 A-CDM 现场评估工作。民航局运行监控中心于 2018 年和 2019 年分别向民航局提交了《关于机场协同决策（A-CDM）建设推进情况的报告》和《关于千万级以上机场协同决策（A-CDM）建设和评估工作开展情况的报告》，获得了局领导的肯定。

通过 A-CDM 系统的建设驱动了行业协同决策，全面实现了机场、航空公司、空管和监管单位之间的信息互通互联，结合运管委六大协同机制，对航班运行带来了一定的效果，一方面提高了机场的运行效率，另一方面提升了旅客的出行满意度。与此同时，行业内众多单位开展了机场运行效率的评估与分析，但是尚未开展由 A-CDM 带来的经济效益评估。考虑到 A-CDM 建设的投入包括机房建设、设备硬件、系统软件及人力资源等各类费用，因此如何将 A-CDM 带来的运行效率和社会效益进行经济量化以便分析获得 A-CDM 的建设和实施效果，是本项目开展的重要目的和意义所在。

本项目首先选择若干千万级机场作为样本机场，收集其在 A-CDM 投入运行前、后一段时间内的运行数据（共 29 项数据）；然后，建立经济效益指标体系，先分析和归纳运行效率指标，然后建立对应的 11 项经济效益指标，如 CTOT 符合度、进离港旅客延误损失、地面滑行花销、燃油排放节省、临界航班效益等；其次，对比样本机场 A-CDM 投入运行前、后经济效益，计算其总体收益并进行成本回收分析；最后，分析样本机场的运行效率和经济效益，总结规律并运用合适的数学模型，对国内 39 家千万级机场（不含北京大兴机场）A-CDM 经济效益进行整体预估。

目 录

前言	i
第一章 指标释义	1
一、CTOT 符合度	1
二、离港旅客损失花销	1
三、到港旅客晚下机损失花销	1
四、繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销	1
五、繁忙时段到港航班滑入节省的地面服务花销	1
六、离港航班滑出燃油排放	2
七、到港航班滑入燃油排放	2
八、地勤人员准时到位	2
九、地勤资源设备花销	2
十、临界航班节省费用	2
十一、调时航班节省费用	3
第二章 数据质量	4
一、广州白云机场	5
二、昆明长水机场	6
三、青岛流亭机场	7
四、大连周水子机场	8
五、郑州新郑机场	9
六、杭州萧山机场	10
第三章 收益情况	12
一、指标计算方法	12
二、广州白云机场	15
三、昆明长水机场	15
四、青岛流亭机场	16
五、大连周水子机场	16
六、郑州新郑机场	16
七、杭州萧山机场	16
第四章 其他千万级机场整体收益推算	18
一、目标决策法	18
二、KNN 分类法	19
三、类别分类法	20
四、三种模型对比	21

附录一 基于机场运行效率分析的广州白云机场 A-CDM 经济效益评估.....	23
附录二 基于机场运行效率分析的昆明长水机场 A-CDM 经济效益评估.....	34
附录三 基于机场运行效率分析的青岛流亭机场 A-CDM 经济效益评估.....	44
附录四 基于机场运行效率分析的大连周水子机场 A-CDM 经济效益评估.....	54
附录五 基于机场运行效率分析的郑州新郑机场 A-CDM 经济效益评估.....	64
附录六 基于机场运行效率分析的杭州萧山机场 A-CDM 经济效益评估.....	75

第一章 指标释义

本章内容为介绍本次经济效益评估的 11 项指标的含义及概念。

一、CTOT 符合度

在实际运行中，遇到流量控制时，航班的起飞时间会被调整，若调整后的航班目标起飞时间不在计算起飞时间（CTOT）有效范围内，则认为会造成放行时隙的损失。机场使用 A-CDM 系统后，其能够根据 CTOT 时间动态调整航班放行时间，努力避免航班放行时隙损失，进而节省相应的经济费用。该指标的产生参考了欧控发布的机场 A-CDM 成本花销（2005 版）报告^[1]。

二、离港旅客损失花销

机场使用 A-CDM 系统后，其可以完善离港航班排序，减少离港航班延误时长，节省了旅客离港延误等待时长，进而节省了旅客的时间成本。该指标的产生参考了欧控发布的机场 A-CDM 成本花销（2005 版）报告^[1]。

三、到港旅客晚下机损失花销

在实际运行中，会出现航班到港正常，但开舱门时间过晚导致旅客晚下机的情况。对于乘坐这部分航班的旅客来说，浪费了旅客的时间。机场使用 A-CDM 系统后，针对到港航班可以提前实行资源调配，减少到港旅客晚下机等待时长，进而节省了旅客的时间成本。该指标的产生参考了欧控发布的机场 A-CDM 成本花销（2005 版）报告^[1]。

四、繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销

机场使用 A-CDM 系统后，可以根据机场的实时运行情况合理安排滑行时间，优化离港航班的滑出路径和起飞次序，降低滑行道拥挤度，进而减少离港航班的滑出时长，节省相应的地面服务花销。由于在繁忙时段滑行道拥挤程度较高，离港航班的路径会动态优化，该指标求解繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销。该指标的产生参考了欧控发布的机场 A-CDM 成本花销（2005 版）报告^[1]。

五、繁忙时段到港航班滑入节省的地面服务花销

机场使用 A-CDM 系统后，可以根据机场的实时运行情况合理安排滑行时间，优化到港航班的滑

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

入路径和落地跑道，降低滑行道拥挤度，进而减少到港航班的滑入时长，节省相应的地面服务花销。由于在繁忙时段滑行道拥挤程度较高，到港航班的路径会动态优化，该指标求解繁忙时段到港航班滑入节省的地面服务花销。该指标的产生参考了欧控发布的机场 A-CDM 成本花销（2005 版）报告^[1]。

六、离港航班滑出燃油排放

根据指标四的分析，A-CDM 使用后会减少离港航班的滑出时长，相应节省了离港航班滑出时消耗的燃油量，进而节省了燃油排放花销。由于飞机尾流型号的不同，导致不同飞机滑行 1 分钟所消耗的燃油量不同，因此该指标根据不同的飞机尾流型号计算离港航班节省的滑出燃油排放。该指标的产生参考了欧控发布的机场 A-CDM 成本花销（2005 版）报告^[1]。

七、到港航班滑入燃油排放

根据指标五的分析，A-CDM 使用后会减少到港航班的滑入时长，相应节省了到港航班滑入时消耗的燃油量，进而节省了燃油排放花销。由于飞机尾流型号的不同，导致不同飞机滑行 1 分钟所消耗的燃油量不同，因此该指标根据不同的飞机尾流型号计算到港航班节省的滑入燃油排放。该指标的产生参考了欧控发布的机场 A-CDM 成本花销（2005 版）报告^[1]。

八、地勤人员准时到位

航班过站期间，需要地勤人员准时到位对航班进行保障。机场使用 A-CDM 系统后，其可以精准预计航班到港时间，减少地勤人员因到岗过早而造成的成本浪费。该指标的产生参考了欧控发布的机场 CDM 成本花销（2005 版）报告^[1]。

九、地勤资源设备花销

与指标八的分析相同，航班过站期间，需要地勤资源设备准时到位对航班进行保障。机场使用 A-CDM 系统后，其可以精准预计航班到港时间，减少因地勤资源设备到位过早而造成的成本浪费。该指标的产生参考了欧控发布的机场 A-CDM 成本花销（2005 版）报告^[1]。

十、临界航班节省费用

实际运行中，机场以追求航班正常为目标。机场使用 A-CDM 系统后会重点协调临界航班，本指标评估协调成功的临界航班所节省的费用。

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

十一、调时航班节省费用

A-CDM 系统支持航班计划动态调整工作的实施，如果调时航班的离港时间提前告知旅客，则减少了对旅客时间花销的赔付。本指标评估调时航班节省的旅客时间花销。

第二章 数据质量

本章主要介绍广州白云机场、昆明长水机场、青岛流亭机场、大连周水子机场、郑州新郑机场和杭州萧山机场 6 个机场的数据采集情况。

机场 A-CDM 运行数据的缺失，会影响到最终的评估结果；同时对缺失数据的补全，又会产生相应的时间成本和计算复杂度。因此，本项目通过对样本数据进行随机缺失处理，获得不同数据缺失率时样本数据的收益情况，寻找到数据缺失率的收益损失临界点。将该临界点作为缺失数据补全与缺失数据删除的触发阈值，当数据缺失率大于该临界值时，则对缺失数据进行补全；当数据缺失率小于该临界值时，则删除缺失数据。最终使得本项目在缺失数据的补全工作上和最终效益评估中获得一个较为折衷、较为优化的处理方案。

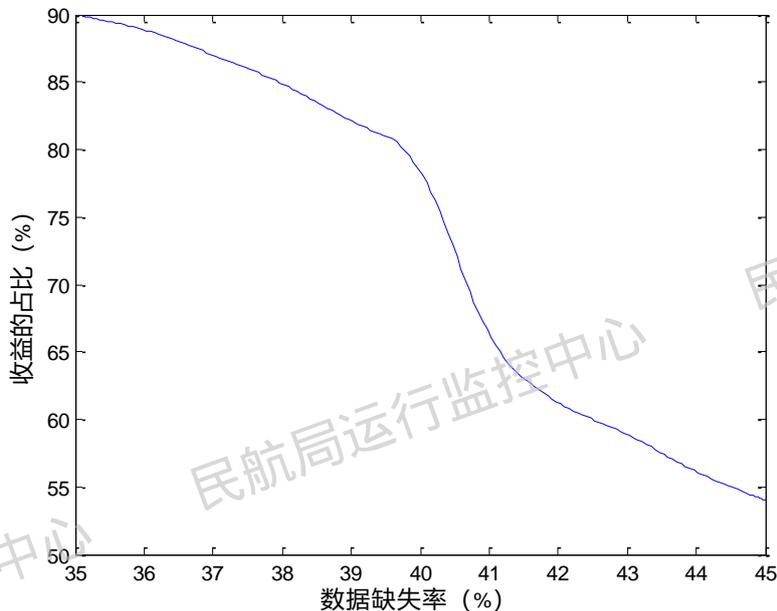


图 1 不同数据缺失率的对比

图 1 的横坐标表示样本数据的随机缺失率，纵坐标表示在不同数据缺失率下的收益与总收益的占比。通过图 1 可以看出数据缺失率为 35% 时，收益占比约为 90%；数据缺失率为 40% 时，收益占比约为 80%；当数据缺失率超过 40% 时，收益占比急速下降，当数据缺失率为 41% 时，收益占比约为 65%。上述实验表明，当数据缺失率低于 40% 时，如果对缺失数据进行补全，则补全前后的收益变化不大，数据补全处理的意义不明显；当数据缺失率高于 40% 时，如果对缺失数据进行补全，则补全前后的收益变化较大，具有相对明显的的数据补全意义。因此，选择 40% 作为数据缺失率分界点，对于缺失率小于 40% 的数据项，在计算时直接删除缺失的数据；对于缺失率大于 40% 的数据项，如果可以用航班的其他保障节点数据进行处理计算得到缺失的数据项，则采用数据处理计算的方法补全缺失数据；如果不能用航班的其他保障节点数据进行处理计算得到缺失数据，则删除缺失的数据。

一、广州白云机场

广州白云机场 A-CDM 系统于 2019 年升级改造，因此选取 2019 年数据作为 A-CDM 系统使用后效益分析的样本数据，为保证 A-CDM 建设前与使用后对比的样本数据时间长度的一致性，选取 2018 年数据作为 A-CDM 系统建设前的样本数据。广州白云机场 A-CDM 系统建设后 CTOT 数据缺失率超过 40%，该数据无法用其他保障节点数据替代，因此在求解相关指标时删除缺失的数据。

广州白云机场 A-CDM 系统建设后数据质量如表 1 所示。

表 1 广州白云机场 A-CDM 系统建设后数据质量

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
进港	实际开舱门时间	249810	53803	21.54%
	实际挡轮挡时间	249810	62166	24.89%
	实际推入时间	249810	62166	24.89%
	到港旅客人数	235958	6422	2.72%
离港	实际关舱门时间	249520	26890	10.78%
	实际撤轮挡时间	249520	65720	26.34%
	下站实际落地时间	249520	53464	21.43%
	实际推出时间	249520	65720	26.34%
	CTOT	83990	62694	74.64%
	LTOT	83990	851	1.01%
	离港旅客人数	235935	3759	1.59%

广州白云机场 A-CDM 系统建设前数据质量如表 2 所示。

表 2 广州白云机场 A-CDM 系统建设前数据质量

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
进港	实际开舱门时间	202081	49473	24.48%
	实际挡轮挡时间	202081	60090	29.74%
	实际推入时间	202081	60090	29.74%
	到港旅客人数	190409	3002	1.58%
离港	实际关舱门时间	201679	23610	11.71%
	实际撤轮挡时间	201679	68030	33.73%
	下站实际落地时间	201679	46879	23.24%
	实际推出时间	201679	68030	33.73%
	离港旅客人数	190229	321	0.17%

二、昆明长水机场

昆明长水机场 A-CDM 系统于 2017 年 10 月投入使用，由于建设时间早，因此，选取 2019 年全年数据作为 A-CDM 系统使用后效益分析的样本数据，为保证 A-CDM 建设前与使用后对比的样本数据时间长度的一致性，选取 2017 年全年数据作为 A-CDM 系统建设前的样本数据。昆明长水机场 A-CDM 系统建设后的数据缺失率超过 40% 的数据项有：实际开舱门时间、实际挡轮挡时间和实际撤轮挡时间；昆明长水机场 A-CDM 系统建设前的数据缺失率超过 40% 的数据项有：实际开舱门时间、实际挡轮挡时间、实际推入时间和实际撤轮挡时间。针对缺失的实际开舱门时间，利用收集到的实际开舱门时间和实际挡轮挡时间的数据统计两者的差值，利用差值和实际挡轮挡时间替代缺失的实际开舱门时间。针对缺失的实际挡轮挡时间，用实际的推入时间替代缺失的实际挡轮挡时间；针对缺失的实际撤轮挡时间，用实际推出时间替代缺失的实际撤轮挡时间。针对缺失的实际推入时间，用实际落地时间和滑行标准时间的关系替代缺失的实际推入时间。

昆明长水机场 A-CDM 系统建设后数据质量如表 3 所示。

表 3 昆明长水机场 A-CDM 系统建设后数据质量

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
进港	实际开舱门时间	177788	79800	44.88%
	实际挡轮挡时间	177788	139036	78.20%
	实际推入时间	177788	2173	1.22%
	到港旅客人数	176502	6702	3.80%
离港	实际关舱门时间	177971	2555	1.44%
	实际撤轮挡时间	177971	137572	77.30%
	下站实际落地时间	177971	594	0.33%
	实际推出时间	177971	2775	1.56%
	CTOT	177971	3769	2.12%
	LTOT	177971	496	0.28%
	离港旅客人数	176676	1083	0.61%

昆明长水机场 A-CDM 系统建设前数据质量如表 4 所示。

表 4 昆明长水机场 A-CDM 系统建设前数据质量

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
进港	实际开舱门时间	174211	78492	45.06%
	实际挡轮挡时间	174211	97364	55.89%
	实际推入时间	174211	100942	57.94%
	到港旅客人数	172983	18220	10.53%
离港	实际关舱门时间	172680	1984	1.15%

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
	实际撤轮挡时间	172680	84253	48.79%
	下站实际落地时间	172680	2317	1.34%
	实际推出时间	172680	51940	30.08%
	离港旅客人数	171501	17590	10.26%

三、青岛流亭机场

青岛流亭机场 A-CDM 系统于 2019 年 4 月 1 日投入使用。因此，选取 2019 年 4 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日共计 9 个月的运行数据，作为 A-CDM 系统使用后效益分析的样本数据，为保证 A-CDM 建设前与使用后对比的样本数据时间长度的一致性，选取 2018 年 7 月 1 日到 2019 年 3 月 31 日共计 9 个月的运行数据，作为 A-CDM 系统建设前的样本数据。青岛流亭机场 A-CDM 系统建设后和建设前下站实际落地时间缺失率均超过 40%，该数据与本场运行数据不相关，无法用航班的其他保障节点数据进行处理得到，因此在求解相关的指标时删除缺失的数据。

青岛流亭机场 A-CDM 系统建设后数据质量如表 5 所示。

表 5 青岛流亭机场 A-CDM 系统建设后数据质量

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
进港	实际开舱门时间	73561	146	0.20%
	实际挡轮挡时间	73561	116	0.16%
	实际推入时间	73561	116	0.16%
	到港旅客人数	71623	129	0.18%
离港	实际关舱门时间	70685	69	0.10%
	实际撤轮挡时间	70685	2619	3.71%
	下站实际落地时间	70685	41021	58.03%
	实际推出时间	70685	2619	3.71%
	CTOT	70685	8339	11.80%
	LTOT	70685	0	0.00%
	离港旅客人数	69505	14	0.02%

青岛流亭机场 A-CDM 系统建设前数据质量如表 6 所示。

表 6 青岛流亭机场 A-CDM 系统建设前数据质量

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
进港	实际开舱门时间	70326	47	0.07%
	实际挡轮挡时间	70326	37	0.05%
	实际推入时间	70326	37	0.05%

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
	到港旅客人数	68871	70	0.10%
离港	实际关舱门时间	68796	0	0.00%
	实际撤轮挡时间	68796	4424	6.43%
	下站实际落地时间	68796	31344	45.56%
	实际推出时间	68796	4424	6.43%
	离港旅客人数	67675	14	0.02%

四、大连周水子机场

大连周水子机场 A-CDM 系统于 2019 年 4 月 1 日投入使用。因此，选取 2019 年 4 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日共计 9 个月的运行数据，作为 A-CDM 系统使用后效益分析的样本数据，为保证 A-CDM 建设前与使用后对比的样本数据时间长度的一致性，选取 2018 年 7 月 1 日到 2019 年 3 月 31 日共计 9 个月的运行数据，作为 A-CDM 系统建设前的样本数据。大连周水子机场 A-CDM 系统建设后和建设前下站实际落地时间缺失率均超过 40%，该数据与本场运行数据不相关，无法用航班的其他保障节点数据进行处理得到，因此无法求解大连机场“离港旅客损失花销”这项指标。

大连周水子机场 A-CDM 系统建设后数据质量如表 7 所示。

表 7 大连周水子机场 A-CDM 系统建设后数据质量

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
进港	实际开舱门时间	59477	4550	7.65%
	实际挡轮挡时间	59477	2031	3.41%
	实际推入时间	59477	2031	3.41%
	到港旅客人数	58757	9450	16.08%
离港	实际关舱门时间	60888	315	0.52%
	实际撤轮挡时间	60888	616	1.01%
	下站实际落地时间	60888	60888	100.00%
	实际推出时间	60888	616	1.01%
	CTOT	60888	1368	2.25%
	LTOT	60888	0	0.00%
	离港旅客人数	59987	3298	5.50%

大连周水子机场 A-CDM 系统建设前数据质量如表 8 所示。

表 8 大连周水子机场 A-CDM 系统建设前数据质量

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
进港	实际开舱门时间	55064	14374	26.10%

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
	实际挡轮挡时间	55064	6451	11.72%
	实际推入时间	55064	6451	11.72%
	到港旅客人数	54407	10484	19.27%
离港	实际关舱门时间	55308	562	1.02%
	实际撤轮挡时间	55308	2616	4.73%
	下站实际落地时间	55308	55308	100.00%
	实际推出时间	55308	2616	4.73%
	离港旅客人数	54601	4969	9.10%

五、郑州新郑机场

郑州新郑机场 A-CDM 系统于 2019 年 6 月 1 日投入使用。因此，选取 2019 年 6 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日共计 7 个月的运行数据，作为 A-CDM 系统使用后效益分析的样本数据，为保证 A-CDM 建设前与使用后对比的样本数据时间长度的一致性，选取 2018 年 11 月 1 日到 2019 年 5 月 31 日共计 7 个月的运行数据，作为 A-CDM 系统建设前的样本数据。郑州新郑机场 A-CDM 系统建设后的数据缺失率超过 40% 的数据项有：实际推出时间。针对缺失的实际推出时间，用实际起飞时间和滑行标准时间的关系替代缺失的实际推出时间。

郑州新郑机场 A-CDM 系统建设后数据质量如表 9 所示。

表 9 郑州新郑机场 A-CDM 系统建设后数据质量

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
进港	实际开舱门时间	67768	3834	5.66%
	实际挡轮挡时间	67768	12374	18.26%
	实际推入时间	67768	12374	18.26%
	到港旅客人数	67768	10246	15.12%
离港	实际关舱门时间	67231	4129	6.14%
	实际撤轮挡时间	67231	12043	17.91%
	下站实际落地时间	67231	11048	16.43%
	实际推出时间	67231	30003	44.63%
	CTOT	67231	547	0.81%
	LTOT	67231	415	0.62%
	离港旅客人数	67231	11085	16.49%

郑州新郑机场 A-CDM 系统建设前数据质量如表 10 所示。

表 10 郑州新郑机场 A-CDM 系统建设前数据质量

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
进港	实际开舱门时间	45383	15867	34.96%
	实际挡轮挡时间	45383	7767	17.11%
	实际推入时间	45383	7767	17.11%
	到港旅客人数	45383	7021	15.47%
离港	实际关舱门时间	45326	9040	19.94%
	实际撤轮挡时间	45326	7866	17.35%
	下站实际落地时间	45326	2894	6.38%
	实际推出时间	45326	7866	17.35%
	离港旅客人数	45326	6767	14.93%

六、杭州萧山机场

杭州萧山机场 A-CDM 系统于 2018 年 12 月投入使用。因此，选取 2019 年全年数据作为 A-CDM 系统使用后效益分析的样本数据，为保证 A-CDM 建设前与使用后对比的样本数据时间长度的一致性，选取 2018 年全年数据作为 A-CDM 系统建设前的样本数据。杭州萧山机场 A-CDM 系统建设后的数据缺失率超过 40% 的数据项有：实际开舱门时间、实际推入时间和实际推出时间；杭州萧山机场 A-CDM 系统建设前的数据缺失率超过 40% 的数据项有：实际开舱门时间、实际推入时间、实际关舱门时间和实际推出时间。针对缺失的实际开舱门时间，利用收集到的实际开舱门时间和实际挡轮挡时间的数据统计两者的差值，利用差值和实际挡轮挡时间替代缺失的实际开舱门时间；针对缺失的实际关舱门时间，利用收集到的实际关舱门时间和实际撤轮挡时间的数据统计两者的差值，利用差值和实际撤轮挡时间替代缺失的实际关舱门时间。针对缺失的实际推入时间，用实际落地时间和滑行标准时间的关系替代缺失的实际推入时间。针对缺失的实际推出时间，用实际起飞时间和滑行标准时间的关系替代缺失的实际推出时间。

杭州萧山机场 A-CDM 系统建设后数据质量如表 11 所示。

表 11 杭州萧山机场 A-CDM 系统建设后数据质量

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
进港	实际开舱门时间	145471	60311	41.46%
	实际挡轮挡时间	145471	20117	13.83%
	实际推入时间	145471	144123	99.07%
	到港旅客人数	133694	15327	11.46%
离港	实际关舱门时间	145489	20849	14.33%
	实际撤轮挡时间	145489	293	0.20%
	下站实际落地时间	145489	1538	1.06%
	实际推出时间	145489	145489	100.00%

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
	CTOT	145489	1605	1.10%
	LTOT	145489	639	0.44%
	离港旅客人数	133681	9703	7.26%

杭州萧山机场 A-CDM 系统建设前数据质量如表 12 所示。

表 12 杭州萧山机场 A-CDM 系统建设前数据质量

航班类型	数据项	航班量	数据缺失航班量	缺失率
进港	实际开舱门时间	141146	102015	72.28%
	实际挡轮挡时间	141146	23226	16.46%
	实际推入时间	141146	139700	98.98%
	到港旅客人数	129304	19557	15.12%
离港	实际关舱门时间	140740	87618	62.26%
	实际撤轮挡时间	140740	4994	3.55%
	下站实际落地时间	140740	1746	1.24%
	实际推出时间	140740	140739	100.00%
	离港旅客人数	128925	9037	7.01%

第三章 收益情况

本章首先介绍指标计算方法，再介绍广州白云机场、昆明长水机场、青岛流亭机场、大连周水子机场、郑州新郑机场和杭州萧山机场等 6 个机场建设 A-CDM 系统的投入费用，以及机场使用 A-CDM 后的收益概况以及机场成本预计收回时间分析，具体收益计算和成本预计回收时间分析请参见附录。A-CDM 系统的投入费用包含 A-CDM 系统建设成本预估费用和年服务费用，其中，A-CDM 系统建设成本预估费用是根据机场规模、系统实际业务功能、系统建设情况、评估中的功能指标等情况，结合各建设厂商的投入费用综合得出的；A-CDM 系统年服务收费标准通常采用年技术服务的形式签订，一般不超过 100 万/年，根据项目实际情况和机场规模有所差异。

本章介绍的 6 个机场数据样本时间不同，郑州新郑机场 A-CDM 系统建设后数据样本取值为 7 个月；广州白云机场、杭州萧山机场和昆明长水机场 A-CDM 系统建设后数据样本取值为一年；大连周水子机场和青岛流亭机场 A-CDM 系统建设后数据样本取值为 9 个月。

一、指标计算方法

指标计算方法按照各个指标的释义，并依据各个机场的运行数据进行统计分析，将得到的运行结果结合机场所在地区的人均收入统一转换为各机场指标收益。

1、CTOT 符合度

结合机场运行数据判断航班的起飞时间是否在航班 CTOT 有效时间内。针对起飞时间没有在航班 CTOT 有效时间内的航班，统计损失时长，利用时隙损失时长转换得到 CTOT 符合度的收益，具体计算过程如下：

$$B_1 = (T_1 - T_2) \cdot P_1 \cdot 50\% \quad (1)$$

其中， B_1 表示 CTOT 符合度节省的收益， T_1 表示 A-CDM 系统建设前的错失 CTOT 航班时隙损失时长， T_2 表示 A-CDM 建设后的错失 CTOT 航班时隙损失时长， P_1 表示航班延误每分钟花销。

2、离港旅客损失花销

结合机场运行数据判断离港延误且到港延误的航班。针对离港延误且到港延误的航班，利用旅客数量分别统计离港延误旅客损失时长，进而转换得到离港旅客节省的时间成本收益，具体计算过程如下：

$$B_2 = \left(\sum_{i=1}^F T_{1,i} \cdot N_{1,i} - \sum_{i=1}^F T_{2,i} \cdot N_{2,i} \right) \cdot P_2 \cdot 50\% \quad (i=1,2,\dots,F) \quad (2)$$

其中， B_2 表示离港旅客节省的时间损失花销， $T_{1,i}$ 表示 A-CDM 系统建设前的第 i 个航班离港延误时长， $T_{2,i}$ 表示 A-CDM 系统建设后的第 i 个航班离港延误时长， $N_{1,i}$ 表示 A-CDM 系统建设前的第 i 个航班的旅客人数， $N_{2,i}$ 表示 A-CDM 系统建设后的第 i 个航班的旅客人数， P_2 表示旅客每分钟的时间价值。离港延误时长 T 的计算公式如下：

$$T = t_{\text{实}} - t_{\text{计}} - 15 \quad (3)$$

其中， T 表示离港延误时长， $t_{\text{实}}$ 表示航班实际撤轮挡时间， $t_{\text{计}}$ 表示航班计划离港时间。

3、到港旅客晚下机损失花销

结合机场运行数据判断到港旅客晚下机的航班。针对到港晚下机航班，利用旅客数量分别统计到港旅客晚下机损失时长，进而转换得到到港旅客晚下机节省的时间成本收益，具体计算过程如下：

$$B_3 = \left(\sum_{i=1}^F T_{1,i} \cdot N_{1,i} - \sum_{i=1}^F T_{2,i} \cdot N_{2,i} \right) \cdot P_3 \cdot 50\% \quad (4)$$

其中， B_3 表示到港旅客晚下机节省的时间损失花销， $T_{1,i}$ 表示 A-CDM 系统建设前的第 i 个航班晚下机时长， $T_{2,i}$ 表示 A-CDM 系统建设后的第 i 个航班晚下机时长， $N_{1,i}$ 表示 A-CDM 系统建设前的第 i 个航班的旅客人数， $N_{2,i}$ 表示 A-CDM 系统建设后的第 i 个航班的旅客人数， P_3 表示旅客每分钟的时间价值。

4、繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销

结合机场运行数据判断不同机场离港航班的繁忙时段，针对繁忙时段分别统计离港航班的滑出时长，将滑出时长转换得到节省的地面服务花销，具体计算过程如下：

$$B_4 = \left[(t_{1,\text{起}} - t_{1,\text{出}}) - (t_{2,\text{起}} - t_{2,\text{出}}) \right] \cdot P_4 \cdot 50\% \quad (5)$$

其中， B_4 表示繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销， $t_{1,\text{起}}$ 表示 A-CDM 系统建设前的繁忙时段航班实际起飞时间， $t_{1,\text{出}}$ 表示 A-CDM 系统建设前的繁忙时段航班实际推出时间， $t_{2,\text{起}}$ 表示 A-CDM 系统建设后的繁忙时段航班实际起飞时间， $t_{2,\text{出}}$ 表示 A-CDM 系统建设后的繁忙时段航班实际推出时间， P_4 表示滑出航班每分钟的地面服务花销。

5、繁忙时段到港航班滑入节省的地面服务花销

结合机场运行数据判断不同机场到港航班的繁忙时段，针对繁忙时段分别统计到港航班的滑入时长，将滑入时长转换得到节省的地面服务花销，具体计算过程如下：

$$B_5 = \left[(t_{1,\text{入}} - t_{1,\text{降}}) - (t_{2,\text{入}} - t_{2,\text{降}}) \right] \cdot P_5 \cdot 50\% \quad (6)$$

其中， B_5 表示繁忙时段到港航班滑入节省的地面服务花销， $t_{1,\text{入}}$ 表示 A-CDM 系统建设前的繁忙时段航班实际推入时间， $t_{1,\text{降}}$ 表示 A-CDM 系统建设前的繁忙时段航班实际落地时间， $t_{2,\text{入}}$ 表示 A-CDM 系统建设后的繁忙时段航班实际推入时间， $t_{2,\text{降}}$ 表示 A-CDM 系统建设后的繁忙时段航班实际落地时间， P_5 表示滑入航班每分钟的地面服务花销。

6、离港航班滑出燃油排放

结合机场运行数据并根据机型判断飞机尾流型号，针对不同的飞机尾流型号分别统计消耗的燃油重量，具体计算过程如下：

$$W_6 = (T_{1,\text{重}} - T_{2,\text{重}}) \cdot W_{\text{重}} + (T_{1,\text{中}} - T_{2,\text{中}}) \cdot W_{\text{中}} + (T_{1,\text{轻}} - T_{2,\text{轻}}) \cdot W_{\text{轻}} \quad (7)$$

其中， W_6 表示离港航班滑出时节省的燃油重量， $W_{重}$ 表示重型机滑出时每分钟的燃油消耗， $W_{中}$ 表示中型机滑出时每分钟的燃油消耗， $W_{轻}$ 表示轻型机滑出时每分钟的燃油消耗， T_1 表示 A-CDM 系统建设前不同机型的滑出时间， T_2 表示 A-CDM 系统建设后不同机型的滑出时间。然后，将燃油重量转换得到节省的燃油排放花销，计算过程如下：

$$B_6 = W_6 \cdot P_6 \cdot 50\% \quad (8)$$

其中， B_6 表示节省的离港航班滑出燃油排放花销， P_6 表示排放每千克燃油所需要的费用。

7、到港航班滑入燃油排放

结合机场运行数据并根据机型判断飞机尾流型号，针对不同的飞机尾流型号分别统计消耗的燃油重量，具体计算过程如下：

$$W_7 = (T_{1,重} - T_{2,重}) \cdot W_{重} + (T_{1,中} - T_{2,中}) \cdot W_{中} + (T_{1,轻} - T_{2,轻}) \cdot W_{轻} \quad (9)$$

其中， W_7 表示到港航班滑入时节省的燃油重量， $W_{重}$ 表示重型机滑入时每分钟的燃油消耗， $W_{中}$ 表示中型机滑入时每分钟的燃油消耗， $W_{轻}$ 表示轻型机滑入时每分钟的燃油消耗， T_1 表示 A-CDM 系统建设前不同机型的滑入时间， T_2 表示 A-CDM 系统建设后不同机型的滑入时间。然后，将燃油重量转换得到节省的燃油排放花销，计算过程如下：

$$B_7 = W_7 \cdot P_7 \cdot 50\% \quad (10)$$

其中， B_7 表示节省的到港航班滑入燃油排放花销， P_7 表示排放每千克燃油所需要的费用。

8、地勤人员准时到位

由于不同飞机尾流型号消耗的人力成本不同，因此分开统计不同飞机尾流型号的过站航班数量，A-CDM 系统使用后每个航班的人力资源减少的等待时长为 2 分钟，将节省的地勤人员等待时长转换得到节省的地勤人员成本花销，计算公式如下：

$$B_8 = (N_{重} \cdot P_{重} + N_{中} \cdot P_{中} + N_{轻} \cdot P_{轻}) \cdot 2 \cdot 80\% \cdot 50\% \quad (11)$$

其中， B_8 表示节省的地勤人员成本花销， N 表示不同飞机尾流型号的数量， P 表示单个航班每分钟的人力资源消耗费用。

9、地勤资源设备花销

由于不同飞机尾流型号消耗的人力成本不同，因此分开统计不同飞机尾流型号的过站航班数量，A-CDM 系统使用后每个航班的人力资源减少的等待时长为 2 分钟，将节省的资源设备等待时长转换得到节省的地勤资源设备成本花销，计算公式如下：

$$B_9 = (N_{重} \cdot P_{重} + N_{中} \cdot P_{中} + N_{轻} \cdot P_{轻}) \cdot 2 \cdot 20\% \cdot 50\% \quad (12)$$

其中， B_9 表示节省的地勤资源设备成本花销， N 表示不同飞机尾流型号的数量， P 表示单个航班每分钟的人力资源消耗费用。

10、临界航班节省费用

结合机场运行数据判断得到临界航班。针对临界航班统计航班挽救的时长，将挽救的时长转换得

到临界航班调整节省的费用，具体计算过程如下：

$$B_{10} = (t_L - t_{\text{实}}) \cdot P_{10} \cdot 50\% \quad (13)$$

其中， B_{10} 表示临界航班调整节省的费用， t_L 表示 LTOT 航班临界起飞时间， $t_{\text{实}}$ 表示航班实际起飞时间， P_{10} 表示航班延误每分钟花销。

11、调时航班节省费用

结合机场运行数据并根据航班调时信息找到调时航班，统计乘坐调时航班的旅客人数。根据调时时长和旅客人数得出旅客节省的时长，进而转换得到旅客节省的时间成本收益，具体计算过程如下：

$$B_{11} = \left(\sum_{i=1}^F T_i \cdot N_i \right) \cdot P_{11} \cdot 50\% \quad (14)$$

其中， B_{11} 表示调时航班节省的旅客时间损失花销， T_i 表示第 i 个航班的调整时长， N_i 表示第 i 个航班的旅客人数， P_{11} 表示旅客每分钟的时间价值。

二、广州白云机场

广州白云机场 A-CDM 系统自使用以来的直接投入约为 1110 万元，其中系统建设投入预估费用为 910 万元，该机场在 2018 年通过民航局评估，因此 2 年的服务费用一共为 200 万元。广州白云机场使用 A-CDM 系统后共产生的间接效益约为 4091.6 万元，其整体收益约为 2981.6 万元，如表 13 所示。利用数据统计及分析，估算得到广州白云机场通过 4 个月的运行实现 A-CDM 系统成本收回，即 2019 年 4 月。详见附录一。

表 13 广州白云机场收益情况

机场	直接投入（万元）		间接效益（万元）	整体收益（万元）
	系统投入	服务费		
广州白云机场	910	200	4091.6	2981.6

三、昆明长水机场

昆明长水机场 A-CDM 系统自使用以来的直接投入为 940 万元，其中系统建设投入预估费用为 780 万元，该机场在 2018 年通过民航局评估，因此 2 年的服务费用一共为 160 万元。昆明长水机场使用 A-CDM 系统后共产生的间接效益约为 3918.42 万元，其整体收益约为 2978.42 万元，如表 14 所示。利用数据统计及分析，估算得到昆明长水机场通过 3 个月的运行实现 A-CDM 系统成本收回，即 2019 年 3 月。详见附录二。

表 14 昆明长水机场收益情况

机场	直接投入（万元）		间接效益（万元）	整体收益（万元）
	系统投入	服务费		
昆明长水机场	780	160	3918.42	2978.42

四、青岛流亭机场

青岛流亭机场 A-CDM 系统于 2019 年 4 月上线运行，直接投入约为 650 万元，其中系统建设投入预估费用为 600 万元，2019 年服务费用为 50 万元。青岛流亭机场使用 A-CDM 系统后共产生的间接效益约为 3307.37 万元，其整体收益约为 2657.37 万元，如表 15 所示。利用数据统计及分析，估算得到青岛流亭机场通过 2 个月的运行实现 A-CDM 系统成本收回，即 2019 年 5 月。详见附录三。

表 15 青岛流亭机场收益情况

机场	直接投入（万元）		间接效益（万元）	整体收益（万元）
	系统投入	服务费		
青岛流亭机场	600	50	3307.37	2657.37

五、大连周水子机场

大连周水子机场 A-CDM 系统于 2019 年 4 月上线运行，直接投入约为 800 万元，其中系统建设投入预估费用为 750 万元，2019 年服务费用为 50 万元。大连周水子机场使用 A-CDM 系统后产生的间接效益约为 3371.53 万元，其整体收益约为 2571.53 万元，如表 16 所示。利用数据统计及分析，估算得到大连周水子机场通过 3 个月的运行实现 A-CDM 系统成本收回，即 2019 年 6 月。详见附录四。

表 16 大连周水子场收益情况

机场	直接投入（万元）		间接效益（万元）	整体收益（万元）
	系统投入	服务费		
大连周水子机场	750	50	3371.53	2571.53

六、郑州新郑机场

郑州新郑机场 A-CDM 系统于 2019 年 6 月上线运行，直接投入约为 670 万元，其中系统建设投入预估费用为 620 万元，2019 年服务费用为 50 万元。郑州新郑机场使用 A-CDM 系统后共产生的间接效益约为 2470.63 万元，其整体收益约为 1800.63 万元，如表 17 所示。利用数据统计及分析，估算得到郑州新郑机场通过 2 个月的运行实现 A-CDM 系统成本收回，即 2019 年 7 月。详见附录五。

表 17 郑州新郑机场收益情况

机场	直接投入（万元）		间接效益（万元）	整体收益（万元）
	系统投入	年服务费		
郑州新郑机场	620	50	2470.63	1800.63

七、杭州萧山机场

杭州萧山机场 A-CDM 系统自使用以来的直接投入为 960 万元，其中系统建设投入预估费用为

800 万元，该机场在 2018 年通过民航局评估，因此 2 年的服务费用一共为 160 万元。杭州萧山机场使用 A-CDM 系统后共产生的间接效益约为 2085.84 万元，其整体收益约为 1125.84 万元，如表 18 所示。利用数据统计及分析，估算得到杭州萧山机场通过 6 个月的运行实现 A-CDM 系统成本收回，即 2019 年 6 月。详见附录六。

表 18 杭州萧山机场收益情况

机场	直接投入（万元）		间接效益（万元）	整体收益（万元）
	系统投入	年服务费		
杭州萧山机场	800	160	2085.84	1125.84

以上六个机场收益情况如表 19 所示。

表 19 六个机场收益情况

机场	直接投入（万元）	间接效益（万元）	整体收益（万元）
广州白云机场	1110	4091.6	2981.6
昆明长水机场	940	3918.42	2978.42
青岛流亭机场	650	3307.37	2657.37
大连周水子机场	800	3371.53	2571.53
郑州新郑机场	670	2470.63	1800.63
杭州萧山机场	960	2085.84	1125.84
总计	5130	19245.39	14115.39

第四章 其他千万级机场整体收益推算

本章利用广州白云机场、昆明长水机场、青岛流亭机场、大连周水子机场、郑州新郑机场和杭州萧山机场 A-CDM 系统的整体收益，分别采用三种模型推算出全国除上述 6 家机场外，其余 33 家千万级机场截止到 2019 年底的 A-CDM 系统整体收益。

一、目标决策法

选取影响机场经济效益的核心指标，根据指标值求解权重。若某个指标的信息熵越小，表明指标值变异程度越大，提供的信息量越多，在综合评价中所起到的作用越大，其权重越大。相反，某个指标值的信息熵越大，表明指标值的变异程度越小，提供的信息量越少，在综合评价中所起的作用也越小，其权重也就越小。在计算时，首先根据 39 个机场，7 个指标的数值构建 39×7 维的矩阵，7 个指标包括旅客吞吐量、货邮吞吐量、起降架次、离港平均延误时间、到港平均延误时间、平均滑出时间和平均滑入时间，矩阵 X 表示如下：

$$X = \begin{bmatrix} x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n} \\ x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n} \\ \vdots \\ x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn} \end{bmatrix}_{m=39, n=7} \quad (15)$$

然后将矩阵进行归一化，并求解信息熵值，相关公式如公式 (16) 和公式 (17) 所示：

$$y_{mn} = \frac{x_{mn} - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (16)$$

$$E_n = -\ln(n)^{-1} \sum_{m=1}^n p_{mn} \ln p_{mn} \quad (17)$$

最后，利用信息熵求解指标权重，指标权重公式为：

$$W_n = \frac{1 - E_n}{n - \sum E_n} \quad (18)$$

利用求解的权重值计算机场得分，根据机场得分情况完成机场的分类，寻找目标机场。找到目标机场后，重新利用离港平均延误时间、到港平均延误时间、平均滑出时间和平均滑入时间四个运行指标计算权重 W'_n ，根据 W'_n 求解其他 33 个机场的整体收益。用目标决策法推算千万级机场整体收益如表所示。

表 20 目标决策法推算千万级机场整体收益

排序	机场	整体收益 (万元)	排序	机场	整体收益 (万元)
1	上海浦东	2867.86	18	呼和浩特白塔	2007.05
2	贵阳龙洞堡	2796.80	19	三亚凤凰	2001.02

排序	机场	整体收益（万元）	排序	机场	整体收益（万元）
3	海口美兰	2742.10	20	太原武宿	1964.32
4	哈尔滨太平	2603.89	21	长春龙嘉	1964.32
5	北京首都	2578.34	22	温州龙湾	1955.73
6	沈阳桃仙	2564.96	23	烟台蓬莱	1950.52
7	乌鲁木齐地窝堡	2548.10	24	石家庄正定	1936.34
8	成都双流	2514.26	25	宁波栎社	1907.22
9	济南遥墙	2253.73	26	长沙黄花	1859.04
10	南昌昌北	2238.18	27	合肥新桥	1754.44
11	天津滨海	2182.22	28	厦门高崎	1726.93
12	银川河东	2161.87	29	珠海金湾	1641.83
13	深圳宝安	2097.53	30	西安咸阳	1515.19
14	南宁吴圩	2082.21	31	重庆江北	1445.85
15	兰州中川	2074.68	32	上海虹桥	1422.48
16	武汉天河	2045.10	33	南京禄口	1349.90
17	福州长乐	2022.84	总计		68776.85

二、KNN 分类法

首先将机场的七个指标的数据进行归一化处理，七个指标包括：旅客吞吐量、货邮吞吐量、起降架次、离港平均延误时间、到港平均延误时间、平均滑出时间和平均滑入时间，将归一化处理后的数据用 KNN 分类法寻找目标机场。KNN 分类法的核心思想是设置 K 值，寻找与它距离最近的 K 个点。距离计算公式采用欧式距离，其计算公式如下：

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (19)$$

然后对四个运行指标的原始数据再进行归一化处理，通过二维坐标点与原点的距离求解相关系数，四个运行指标分别是：离港平均延误时间、到港平均延误时间、平均滑出时间和平均滑入时间。最后，利用相关系数求解其他未知机场的经济效益。用 KNN 分类法推算千万级机场整体收益如表所示。

表 21 KNN 分类法推算千万级机场整体收益

排序	机场	整体收益（万元）	排序	机场	整体收益（万元）
1	合肥新桥	2921.48	18	乌鲁木齐地窝堡	2361.18
2	深圳宝安	2865.64	19	哈尔滨太平	2213.98
3	南昌昌北	2839.89	20	海口美兰	2156.98
4	宁波栎社	2774.82	21	贵阳龙洞堡	2116.19
5	福州长乐	2751.00	22	西安咸阳	1790.49
6	呼和浩特白塔	2733.62	23	石家庄正定	1649.30
7	厦门高崎	2724.97	24	银川河东	1635.06
8	长沙黄花	2692.83	25	兰州中川	1629.84
9	烟台蓬莱	2655.04	26	长春龙嘉	1619.10

排序	机场	整体收益（万元）	排序	机场	整体收益（万元）
10	沈阳桃仙	2589.13	27	南宁吴圩	1611.87
11	珠海金湾	2560.36	28	太原武宿	1555.69
12	天津滨海	2552.22	29	三亚凤凰	1417.42
13	成都双流	2538.88	30	北京首都	1258.43
14	济南遥墙	2531.97	31	上海浦东	1254.45
15	武汉天河	2521.88	32	上海虹桥	1254.45
16	温州龙湾	2511.34	33	南京禄口	1096.94
17	重庆江北	2441.15	总计		71827.57

三、类别分类法

基于千万级机场的运行数据选取七个指标作为机场类别划分的基准，七个指标分别为：旅客吞吐量、货邮吞吐量、起降架次、离港平均延误时间、到港平均延误时间、平均滑出时间和平均滑入时间。将 39 个机场、7 个指标的 39×7 维矩阵进行数据标准化处理，标准化公式如下：

$$x_{mn}^* = \frac{x_{mn} - \mu_n}{\sigma_n} \quad (20)$$

其中， μ_n 、 σ_n 分别表示第 n 列的均值和方差，数据标准化处理后的矩阵用 X^* 表示，记为：

$$X^* = \begin{bmatrix} x_{11}^* & x_{12}^* & \cdots & x_{1n}^* \\ x_{21}^* & x_{22}^* & \cdots & x_{2n}^* \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1}^* & x_{m2}^* & \cdots & x_{mn}^* \end{bmatrix}_{m=39, n=7} \quad (21)$$

然后，将 X^* 作为输入，求解划分矩阵，利用曼哈顿距离计算不同点的距离值，通过距离值对千万级机场进行分类。曼哈顿距离公式如下所示：

$$d = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| \quad (22)$$

最后，用四个运行指标（离港平均延误时间、到港平均延误时间、平均滑出时间、平均滑入时间）的数据再次通过上述步骤，求解相关系数。用类别分类法推算其他千万级机场效益如表所示。

表 22 类别分类法推算千万级机场整体收益

排序	机场	整体收益（万元）	排序	机场	整体收益（万元）
1	上海浦东	3245.37	18	乌鲁木齐地窝堡	1995.44
2	北京首都	2927.01	19	贵阳龙洞堡	1962.96
3	深圳宝安	2833.11	20	哈尔滨太平	1912.01
4	济南遥墙	2517.82	21	珠海金湾	1854.78
5	武汉天河	2512.51	22	天津滨海	1847.18
6	成都双流	2491.94	23	银川河东	1778.01

排序	机场	整体收益 (万元)	排序	机场	整体收益 (万元)
7	长沙黄花	2438.75	24	合肥新桥	1714.27
8	宁波栎社	2335.06	25	兰州中川	1700.84
9	厦门高崎	2292.47	26	南宁吴圩	1688.20
10	沈阳桃仙	2202.56	27	石家庄正定	1606.40
11	温州龙湾	2167.09	28	长春龙嘉	1599.76
12	海口美兰	2151.76	29	上海虹桥	1584.97
13	呼和浩特白塔	2133.56	30	太原武宿	1537.12
14	南昌昌北	2125.85	31	三亚凤凰	1426.65
15	福州长乐	2086.05	32	西安咸阳	959.78
16	南京禄口	2064.68	33	重庆江北	830.27
17	烟台蓬莱	2013.86	总计		66538.07

四、三种模型对比

三种推算模型的机场分类方法不同，求解得到的相关系数值不同，导致最终推算出的千万级机场整体收益有差异。通过三种模型推算的 33 个机场整体收益情况如图 2 所示。

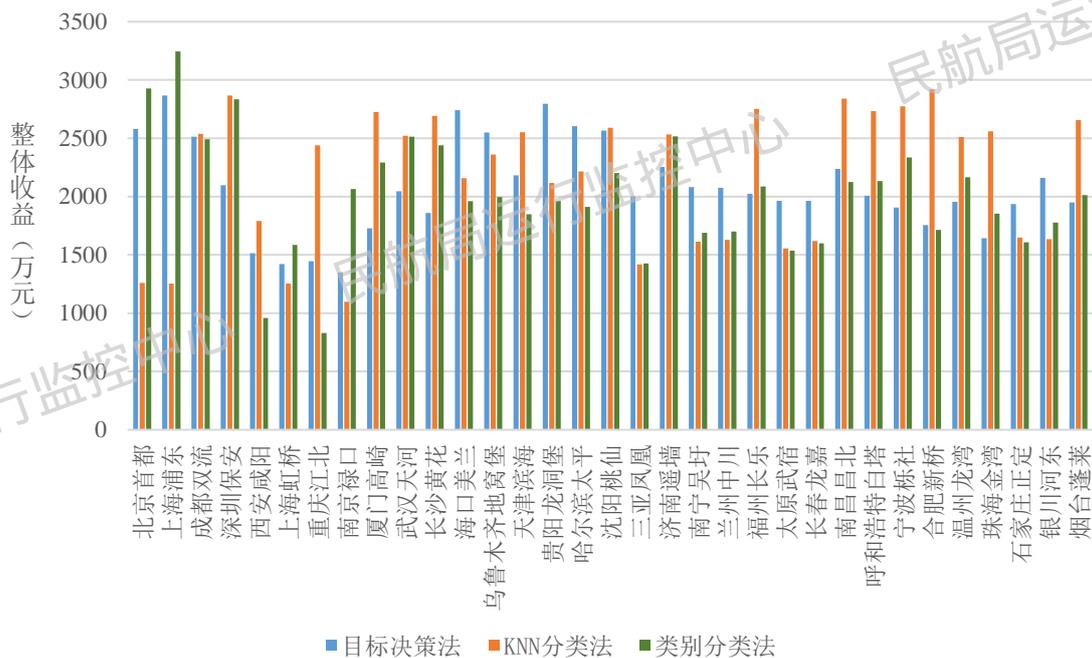


图 2 利用三种方法推算得到的千万级机场整体收益情况

通过图 2 可知，利用 KNN 分类法求解得到的机场收益与其它两种方法求解得到的机场收益规律相反。例如，利用目标决策法和类别分类法求解得到的北京首都机场的整体收益超过 2500 万元，而利用 KNN 分类法求解得到的北京首都机场的整体收益不足 1500 万元；而利用目标决策法和类别分类法求解得到的烟台蓬莱机场的整体收益不足 2000 万元，而利用 KNN 分类法求解得到的烟台蓬莱机场的整体收益为 2600 多万元。

分别求解三种方法的方差，如表 23 所示。

表 23 三种模型方差

	目标决策法	KNN 分类法	类别分类法
方差	154370.37	322453.22	249441.53

分别求解三种方法之间的相关性系数，如表 24 所示。

表 24 三种模型相关性系数

	目标决策法, KNN 分类法	目标决策法, 类别分类法	KNN 分类法, 类别分类法
相关性系数	$r_{1,2}=0.01$	$r_{1,3}=0.52$	$r_{2,3}=0.19$

对于正数来说，相关性系数越接近 1 说明两者之间越具有相关性；相关性系数越接近 0 说明两者之间越不具相关性。根据表 24 可知，目标决策法和类别分类法之间的相关性较强，结合方差进行比较，得到目标决策法的方差较低，因此推荐使用目标决策法。

附录一 基于机场运行效率分析的广州白云机场 A-CDM 经济效益评估

第一章 总体概述

第一节 整体评估

本报告评估机场建设和使用 A-CDM 后获得经济效益的情况。A-CDM 的经济情况包括两个部分：建设 A-CDM 的直接投入和 A-CDM 使用后带来的间接效益。报告对机场使用 A-CDM 后的经济效益进行评估，并分析机场收回成本和开始盈利的时间。

本报告第二章第一节介绍了机场的直接投入，第二节通过 11 项指标详细介绍了机场的间接效益，第三节对机场整体收益进行了评估。第三章介绍了成本收回的方法，并评估机场收回成本的时间。

第二节 数据说明

广州白云机场于 2019 年更新 A-CDM 系统，因此本报告选取 2019 年全年运行数据作为 A-CDM 使用后效益分析的样本数据，为保证 A-CDM 建设前与使用后对比的样本数据时间长度的一致性，选取 2018 年数据作为 A-CDM 系统建设前的样本数据。

第二章 效益评估

第一节 机场直接投入

经计算评估，广州白云机场建设 A-CDM 系统的总金额为 1110 万元，其中系统建设投入预估费用为 910 万元，该机场在 2018 年通过民航局评估，因此服务费用为 2 年，2018 年、2019 年服务费用为每年各 100 万元。

第二节 机场间接效益

本节详细分析了 A-CDM 给机场带来的间接效益，列出了 CTOT 符合度、离港旅客损失花销、到港旅客晚下机损失花销等 11 项指标，并逐一进行详细分析和说明，有关内容如下：

一、CTOT 符合度

在实际运行中，遇到流量控制时，航班的起飞时间会被调整，若调整后的航班目标起飞时间不在

CTOT 有效范围内，则认为会造成放行时隙的损失。通过数据分析发现 A-CDM 使用没有减少时隙损失时长，反而带来了相应的经济损失。经计算，广州白云机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班的时隙损失达 40.10 万元，如表 1 所示。

表 1 CTOT 符合度节省的经济费用

指标项	数值
错失 CTOT 的航班平均时隙损失时长-建前 (min)	24.04
错失 CTOT 的航班平均时隙损失时长-建后 (min)	29.09
航班减少时隙损失时长总和 (min)	-2112.88
航班延误每分钟花销	¥379.57
A-CDM 时隙节省贡献率	50% ^[1]
节省的时隙损失花销 b_1 (万元)	-40.10

A-CDM 的使用对时隙损失时长情况的影响，在图 1 中进行了分析。图 1 计算出每一天的放行时隙损失平均时长，从总体来看，A-CDM 建设后数据的波动较大，说明 A-CDM 的使用增加了时隙损失时长，造成了相应的损失花销。

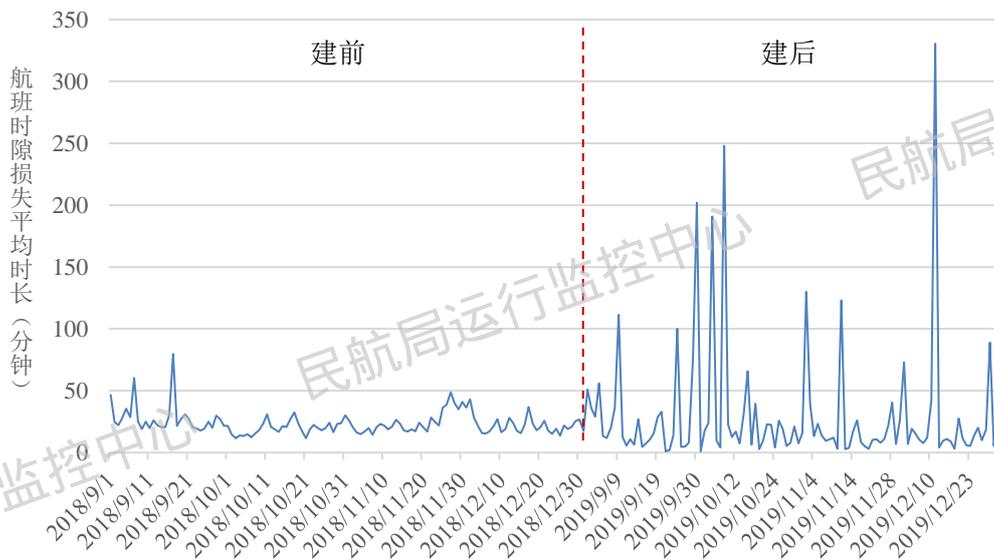


图 1 A-CDM 建设前后航班时隙损失平均时长

二、离港旅客损失花销

在实际运行中，对于离港延误的航班，部分航班会在空中进行调整以避免到港延误，乘坐这部分航班的旅客没有受到经济损失；而其他到港延误的航班，对于其旅客来说则受到了经济损失，旅客的赔付与旅客每分钟的时间价值相关。经计算，广州白云机场使用 A-CDM 后，客运航班共节省 301.89 万元，如表 2 所示。

表 2 离港旅客延误节省的花销

指标项	数值
单名旅客延误时长-建前 (min)	79.25

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
单名旅客延误时长-建后 (min)	77.19
节省总时长 (min)	9828876.36
旅客每分钟时间价值	¥0.61
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
离港旅客节省的损失花销 $b_{2,客运}$ (万元)	301.89

A-CDM 建设前后离港旅客延误平均时长如图 2 所示。

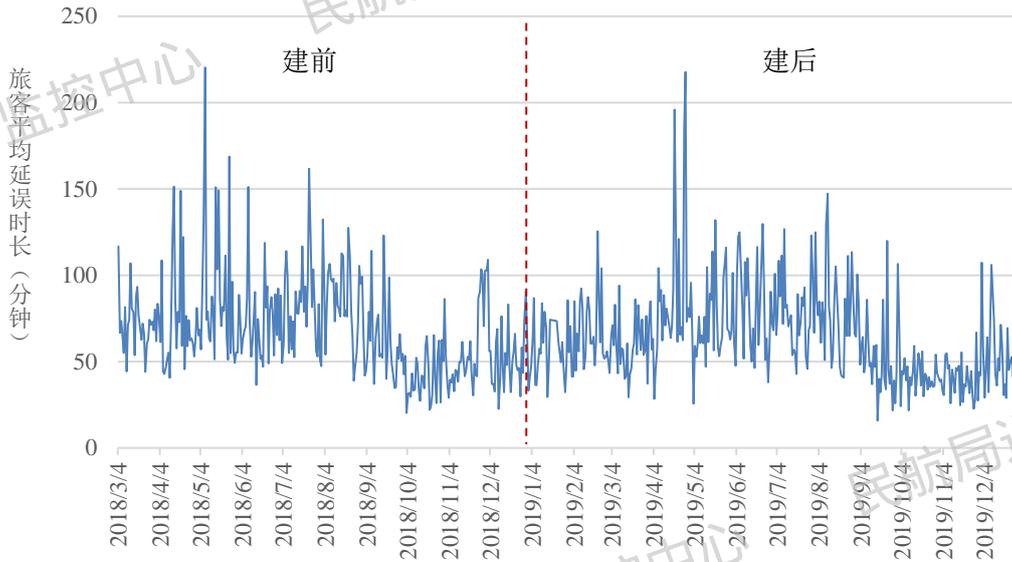


图 2 A-CDM 建设前后离港旅客延误平均时长

三、到港旅客晚下机损失花销

在机场运行中会出现航班到港正常，但开舱门时间过晚导致旅客晚下机，对于乘坐这部分航班的旅客来说会造成经济损失，旅客的赔付与旅客每分钟的时间价值相关。通过数据分析发现 A-CDM 使用没有减少到港旅客晚下机时长，反而带来了相应的经济损失。经计算，广州白云机场使用 A-CDM 后，客运航班到港旅客晚下机损失花销达 263.11 万元，如表 3 所示。

表 3 到港旅客延误节省的花销

指标项	数值
单名旅客晚下机时长-建前 (min)	64.42
单名旅客晚下机时长-建后 (min)	66.46
节省总时长 (min)	-8566180.68
旅客每分钟时间价值	¥0.61
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
到港旅客晚下机节省的损失花销 $b_{3,客运}$ (万元)	-263.11

A-CDM 建设前后到港旅客晚下机时长如图 3 所示。图 3 计算出每一天的到港旅客晚下机平均时

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

长，从总体来看，A-CDM 建设后数据的波动较大，说明 A-CDM 的使用增加了到港旅客晚下机时长，造成了相应的损失花销。

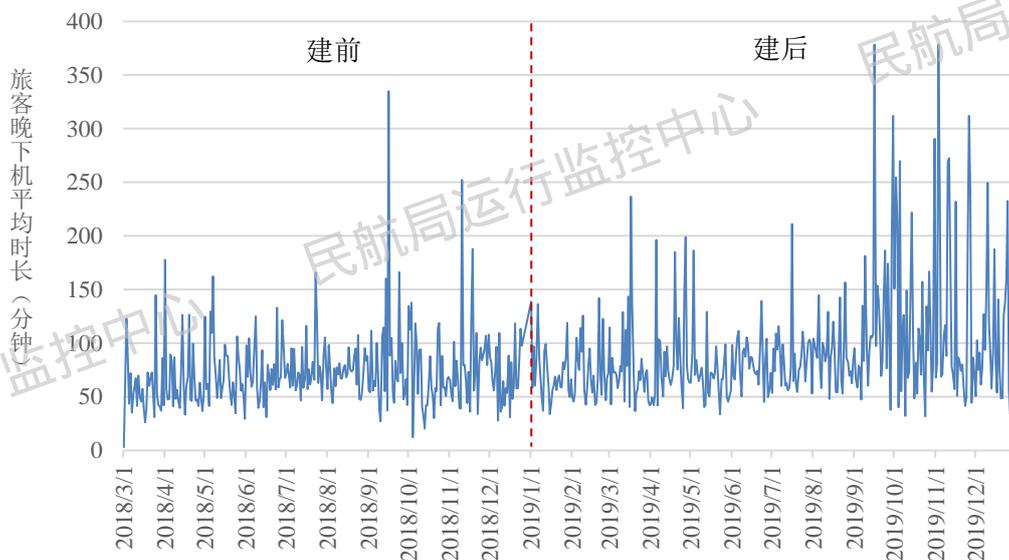


图 3 A-CDM 建设前后到港旅客晚下机平均时长

四、繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销

据统计，A-CDM 使用后可以优化离港航班的滑出路径，进而减少航班的滑行时间，节省相应的地面服务花销。该指标计算繁忙时段离港航班滑出节省的时长，并根据地面服务每分钟的花费计算繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销。经计算，广州白云机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班繁忙时段离港航班滑出地面服务花销共节省 138.29 万元，如表 4 所示。

表 4 离港航班滑出节省的地面服务花销

指标项	数值
繁忙时段单个离港航班滑出时长 (min) -建前	18.56
繁忙时段单个离港航班滑出时长 (min) -建后	18.14
繁忙时段减少的离港航班滑出时长 (min)	11982.89
地面服务每分钟花费	¥230.82
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
离港航班滑出节省的地面服务花销 b_4 (万元)	138.29

A-CDM 建设前后繁忙时段离港航班平均滑出时长如图 4 所示。图 4 计算出每一天的繁忙时段离港航班平均滑出时长，从总体来看，A-CDM 建设后数据平均值有所降低，说明 A-CDM 的使用减少了繁忙时段离港航班平均滑出时长，进而减少了滑出地面服务花销。

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

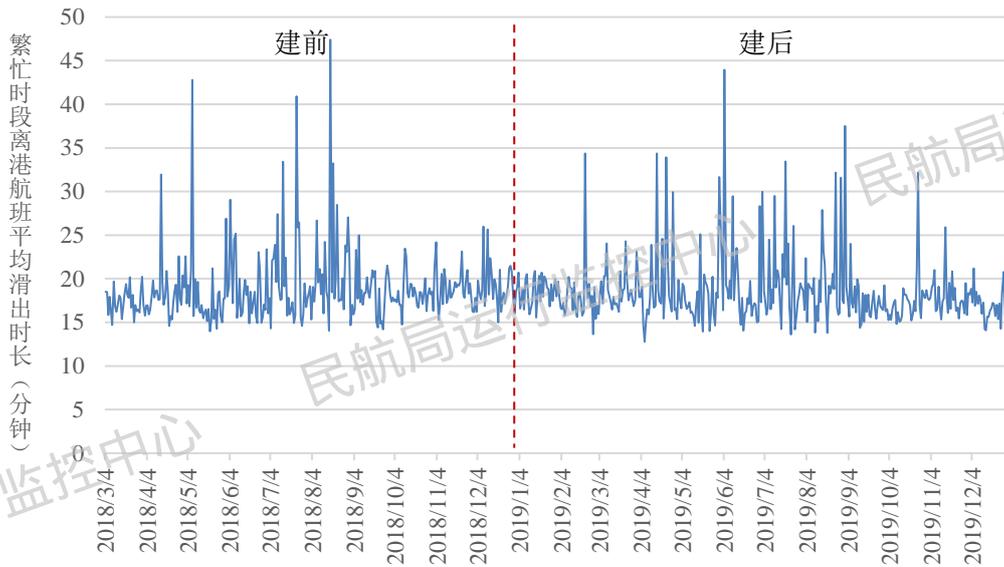


图 4 A-CDM 建设前后繁忙时段离港航班平均滑出时长

五、繁忙时段到港航班滑入节省的地面服务花销

据统计，A-CDM 使用后可以优化到港航班的滑入路径，进而减少航班的滑行时间，节省相应的地面服务花销。该指标计算出到港航班节省的滑入总时长，并根据地面服务每分钟的花费计算机场到港航班滑入节省的地面服务花销。经计算，广州白云机场使用 A-CDM 后，客运和货运到港航班滑入地面服务花销共节省 2255.24 万元，如表 5 所示。

表 5 到港航班滑入节省的地面服务花销

指标项	数值
繁忙时段单个到港航班滑入时长-建前 (min)	15.13
繁忙时段单个到港航班滑入时长-建后 (min)	11.79
减少的到港航班滑入时长 (min)	195411.07
地面服务每分钟花费	¥230.82
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
到港航班滑入节省的地面服务花销 b_5 (万元)	2255.24

A-CDM 建设前后繁忙时段到港航班平均滑入时长如图 5 所示。图 5 计算出每一天的繁忙时段到港航班平均滑入时长，从总体来看，A-CDM 建设后到港航班平均滑入时长低于 A-CDM 建设前到港航班平均滑入时长，说明 A-CDM 的使用减少了到港航班平均滑入时长，进而减少了繁忙时段到港航班滑入地面服务花销。

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

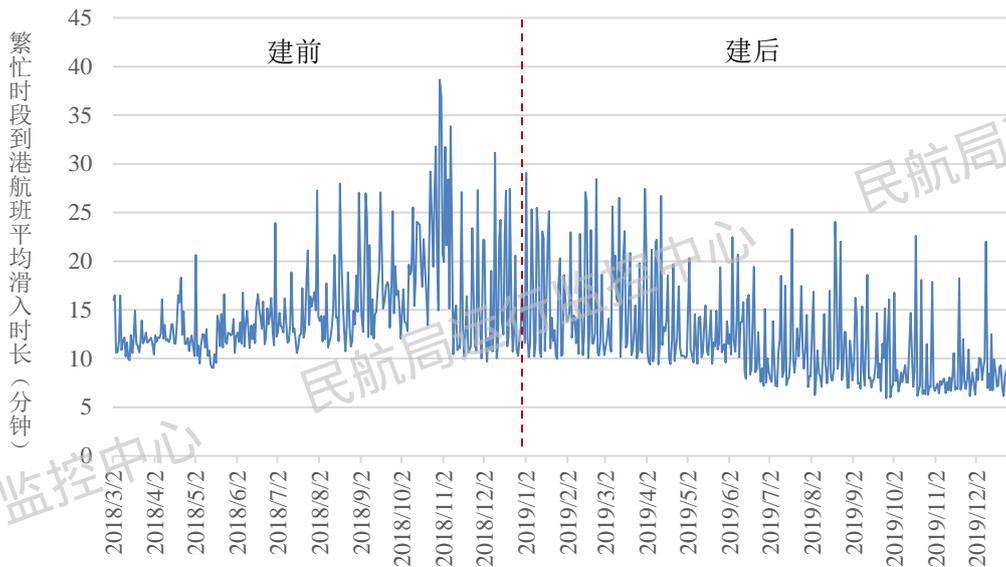


图5 A-CDM建设前后繁忙时段到港航班平均滑入时长

六、离港航班滑出燃油排放

根据指标四的分析，A-CDM使用后会减少离港航班的滑出时长，进而节省了航班滑出时的燃油排放花销。本指标根据飞机尾流型号计算节省的燃油消耗重量，然后根据排放单位燃料不同物质的价格评估离港航班滑出节省的燃油排放花销。经计算，广州白云机场使用A-CDM后，客运航班和货运航班离港航班滑出燃油排放共节省18.40万元，如表6所示。

表6 离港航班滑出燃油排放节省的花销

指标项	数值
建前单个离港航班滑出时长-重型机 (min)	19.60
建后单个离港航班滑出时长-重型机 (min)	19.66
离港航班滑出节省时长 (min) -重型机	-1760.82
离港航班滑出节省的燃油消耗-重型机 (kg)	-29933.92
建前单个离港航班滑出时长-中型机 (min)	17.66
建后单个离港航班滑出时长-中型机 (min)	17.23
离港航班滑出节省时长 (min) -中型机	41698.33
离港航班滑出节省的燃油消耗-中型机 (kg)	471191.10
建前单个离港航班滑出时长-轻型机 (min)	16.81
建后单个离港航班滑出时长-轻型机 (min)	16.51
离港航班滑出节省时长 (min) -轻型机	2209.49
离港航班滑出节省的燃油消耗-轻型机 (kg)	12594.09
滑行平均燃油消耗-重型机 (kg/min)	17 ^[1]
滑行平均燃油消耗-中型机 (kg/min)	11.3 ^[1]
滑行平均燃油消耗-轻型机 (kg/min)	5.7 ^[1]
排放每公斤燃料中 CO ₂ 的费用	¥0.55
排放每公斤燃料中 H ₂ O 的费用	¥0.06

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
排放每公斤燃料中 SO ₂ 的费用	¥0.012
排放每公斤燃料中 HC 的费用	¥0.11
排放每公斤燃料中 NO _x 的费用	¥0.05
排放每公斤燃料中 CO 的费用	¥0.03
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
离港航班滑出节省的燃油排放花销-重型机 (万元)	-1.21
离港航班滑出节省的燃油排放花销-中型机 (万元)	19.10
离港航班滑出节省的燃油排放花销-轻型机 (万元)	0.51
离港航班滑出节省的燃油排放花销 b_6 (万元)	18.40

七、到港航班滑入燃油排放

根据指标五的分析，A-CDM 使用后会减少到港航班的滑入时长，进而节省了航班滑入时的燃油排放花销。本指标根据飞机尾流型号计算节省的燃油消耗重量，然后根据排放单位燃料不同物质的价格评估到港航班滑入节省的燃油排放花销。经计算，广州白云机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班到港航班滑入燃油排放共节省 170.33 万元，如表 7 所示。

表 7 到港航班滑入燃油排放节省的花销

指标项	数值
建前单个到港航班滑入时长-重型机 (min)	16.29
建后单个到港航班滑入时长-重型机 (min)	12.31
到港航班滑入节省时长-重型机 (min)	124007.96
到港航班滑入节省的燃油消耗-重型机 (kg)	2108135.28
建前单个到港航班滑入时长-中型机 (min)	14.45
建后单个到港航班滑入时长-中型机 (min)	10.48
到港航班滑入节省时长-中型机 (min)	177543.70
到港航班滑入节省的燃油消耗-中型机 (kg)	2006243.81
建前单个到港航班滑入时长-轻型机 (min)	10.09
建后单个到港航班滑入时长-轻型机 (min)	7.83
到港航班滑入节省时长-轻型机 (min)	15235.83
到港航班滑入节省的燃油消耗-轻型机 (kg)	86844.23
滑行平均燃油消耗-重型机 (kg/min)	17 ^[1]
滑行平均燃油消耗-中型机 (kg/min)	11.3 ^[1]
滑行平均燃油消耗-轻型机 (kg/min)	5.7 ^[1]
排放每公斤燃料中 CO ₂ 的费用	¥0.55
排放每公斤燃料中 H ₂ O 的费用	¥0.06
排放每公斤燃料中 SO ₂ 的费用	¥0.012
排放每公斤燃料中 HC 的费用	¥0.11
排放每公斤燃料中 NO _x 的费用	¥0.05
排放每公斤燃料中 CO 的费用	¥0.03

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
到港航班滑入节省的燃油排放花销-重型机 (万元)	85.47
到港航班滑入节省的燃油排放花销-中型机 (万元)	81.34
到港航班滑入节省的燃油排放花销-轻型机 (万元)	3.52
到港航班滑入节省的燃油排放花销 b_7 (万元)	170.33

八、地勤人员准时到位

航班过站期间，需要地勤人员准时到位对航班进行保障。A-CDM 的使用可以精准预计航班到港时间，减少地勤人员因到岗过早而造成的成本浪费。本指标根据飞机尾流型号来评估节省的地勤人员等待花销。经计算，广州白云机场使用 A-CDM 后，客运航班节省的地勤人员花销共 1157.88 万元，如表 8 所示。

表 8 地勤人员准时到位节省的花销

指标项	数值
平均减少的等待时长 (min)	2 ^[1]
重型机数量	22703
中型机数量	52487
轻型机数量	2136
平均每分钟人力消耗-重型机	¥243.14
平均每分钟人力消耗-中型机	¥166.70
平均每分钟人力消耗-轻型机	¥95.40
地勤人员节省的占比	80% ^[1]
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
节省的地勤人员花销 $b_{8,客运}$ (万元)	1157.88

九、地勤资源设备花销

航班过站期间，需要地勤资源设备准时到位对航班进行保障。A-CDM 的使用可以精准预计航班到港时间，减少因地勤资源设备到位过早而造成的成本浪费。本指标根据飞机尾流型号来评估节省的地勤资源设备等待花销。经计算，广州白云机场使用 A-CDM 后，客运航班节省的地勤资源设备花销共 289.47 万元，如表 9 所示。

表 9 地勤资源设备利用节省的花销

指标项	数值
平均减少的等待时长 (min)	2 ^[1]
重型机数量	22703
中型机数量	52487
轻型机数量	2136
平均每分钟人力消耗-重型机	¥243.14

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
平均每分钟人力消耗-中型机	¥166.70
平均每分钟人力消耗-轻型机	¥95.40
地勤资源节省的占比	20% ^[1]
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
节省的地勤资源花销 $b_{9,客运}$ (万元)	289.47

十、临界航班节省费用

为追求航班正常目标，A-CDM 系统会重点协调临界航班。本指标评估协调成功的临界航班所节省的费用。经计算，广州白云机场使用 A-CDM 后，协调成功的临界航班所节省的费用为 34.54 万元，如表 10 所示。

表 10 临界航班节省的花销

指标项	数值
临界航班数量	420
临界航班挽救总时长 (min)	1820
航班延误每分钟花销	¥379.57
A-CDM 贡献率	50%
临界航班节省的费用 $b_{10,客运}$ (万元)	34.54

十一、调时航班节省费用

A-CDM 系统支持航班计划动态调整工作的实施，若调时航班起飞时间提前告知旅客，则减少了旅客的时间花销损失。本指标评估调时航班节省的旅客时间花销。旅客时间花销按照旅客的时间成本进行计算，广州白云机场使用 A-CDM 后，调时航班节省的费用为 28.77 万元，如表 11 所示。

表 11 调时航班节省的花销

指标项	数值
调时航班数量	63
调时航班旅客数量	10502
调时航班节省的旅客赔付总时长 (min)	936575
旅客每分钟时间价值	¥0.61
A-CDM 贡献率	50%
调时航班节省的费用 $b_{11,客运}$ (万元)	28.77

第三节 整体收益评估

由第一节可知，广州白云机场对 A-CDM 的直接投入用 C 表示， $C = 1110$ 万元。根据第二节的内容计算广州白云机场使用 A-CDM 后的间接效益， B 计算公式为：

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

$$B = \sum_{i=1}^{11} b_i \quad (1)$$

利用式(1)计算得到机场间接效益 $B = 4091.6$ 万元。

广州白云机场整体收益为：

$$E = B - C = 2981.6 \quad (2)$$

广州白云机场整体收益为 2981.6 万元。

第三章 成本收回分析

广州白云机场对 A-CDM 的直接投入 $C = 1110$ 万元,使用 A-CDM 后经济效益 $B = 4091.6$ 万元。

2019年1月1日至2019年12月31日广州白云机场客运航班和货运航班用 F 表示, $F = 495311$ 架次。期间每月航班起降架次如图 6 所示。

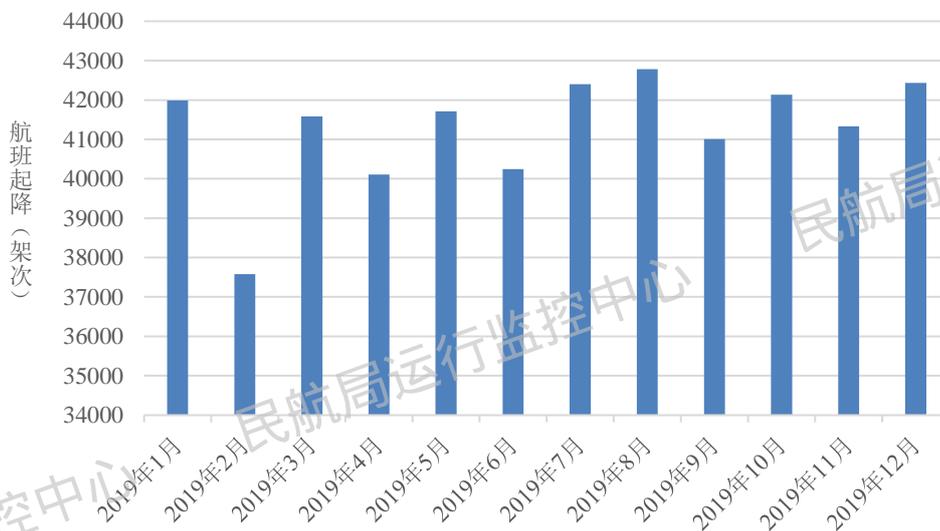


图 6 A-CDM 建后每月航班起降架次

每个航班的收益为：

$$V = \frac{B}{F} \quad (3)$$

利用(3)求得每个航班的收益为 82.61 元。

结合广州白云机场 A-CDM 建成后每个月的航班量,以及每个航班的单价收益计算机场收益回本时间,如图 7 所示。

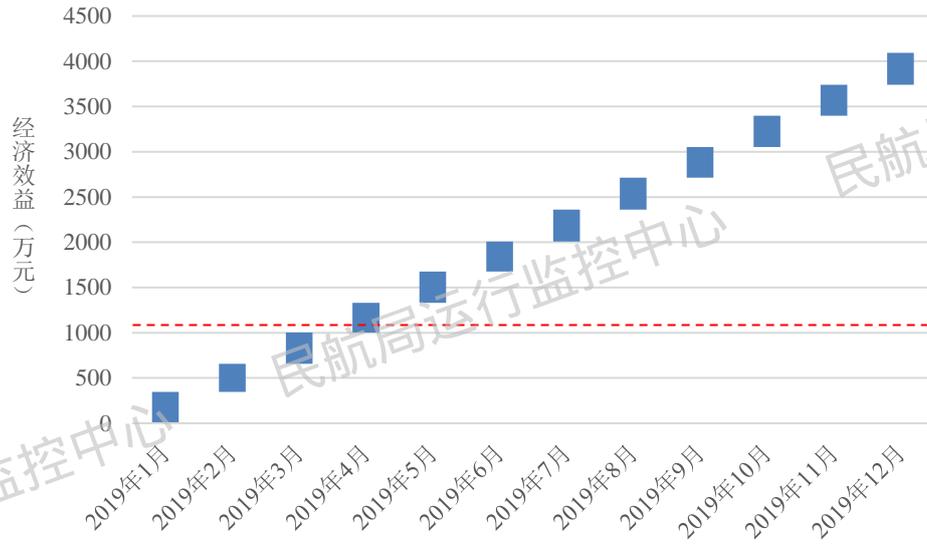


图7 收益回本时间

根据图7可知，广州白云机场于2019年4月收回投入成本。

附录二 基于机场运行效率分析的昆明长水机场 A-CDM 经济效益评估

第一章 总体概述

第一节 整体评估

本报告评估机场建设和使用 A-CDM 后获得经济效益的情况。A-CDM 的经济情况包括两个部分：建设 A-CDM 的直接投入和 A-CDM 使用后带来的间接效益。报告对机场使用 A-CDM 后的经济效益进行评估，并分析机场收回成本和开始盈利的时间。

本报告第二章第一节介绍了机场的直接投入，第二节通过 11 项指标详细介绍了机场的间接效益，第三节对机场整体收益进行了评估。第三章介绍了成本收回的方法，并评估机场收回成本的时间。

第二节 数据说明

昆明长水机场于 2017 年 10 月末建立 A-CDM 系统，由于建设时间过早，同时为了反映机场最近的运行情况，因此选择 2019 年全年运行数据作为 A-CDM 使用后效益分析的样本数据。考虑到机场建立 A-CDM 系统的初期，收益情况不明显，同时为保证数据时间长度的一致性，因此选择 2017 年全年数据作为 A-CDM 系统建设前的样本数据。

第二章 效益评估

第一节 机场直接投入

经计算评估，昆明长水机场建设 A-CDM 系统的总金额为 940 万元，其中系统建设投入预估费用为 780 万元，该机场在 2018 年通过民航局评估，因此服务费用为 2 年，2018 年、2019 年服务费用为每年各 80 万元。

第二节 机场间接效益

本节详细分析了 A-CDM 给机场带来的间接效益，列出了 CTOT 符合度、离港旅客损失花销、到港旅客晚下机损失花销等 11 项指标，并逐一进行详细分析和说明，有关内容如下：

一、CTOT 符合度

在实际运行中，遇到流量控制时，航班的起飞时间会被调整，若调整后的航班目标起飞时间不在 CTOT 有效范围内，则认为会造成放行时隙的损失。经计算，昆明长水机场使用 A-CDM 后，在时隙损失减少的情况下，客运航班和货运航班共带来了 562.13 万元的经济效益，如表 1 所示。

表 1 CTOT 符合度节省的经济费用

指标项	数值
错失 CTOT 的航班平均时隙损失时长-建前 (min)	35.87
错失 CTOT 的航班平均时隙损失时长-建后 (min)	31.50
航班减少时隙损失时长总和 (min)	41625.48
航班延误每分钟花销	¥270.09
A-CDM 时隙节省贡献率	50% ^[1]
节省的时隙损失花销 b_1 (万元)	562.13

A-CDM 的使用对时隙损失时长情况的改善，在图 1 中进行了分析。图 1 计算出每一天的放行时隙损失平均时长，从总体来看，A-CDM 建设后数据的波动较小，说明 A-CDM 的使用减少了时隙损失时长，进而减少了相应的经济损失。

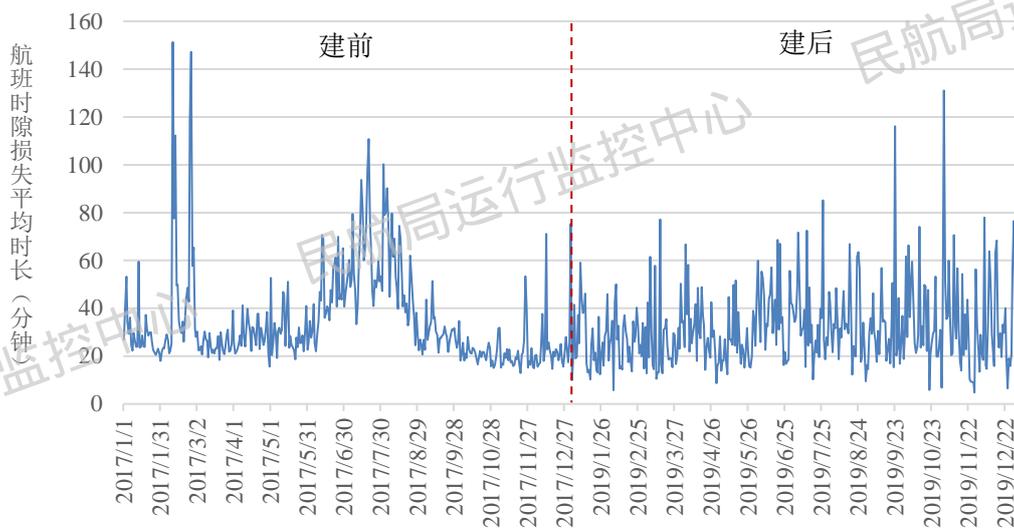


图 1 A-CDM 建设前后航班时隙损失平均时长

二、离港旅客损失花销

在实际运行中，对于离港延误的航班，部分航班会在空中进行调整以避免到港延误，乘坐这部分航班的旅客没有受到经济损失；而其他到港延误的航班，对于其旅客来说则受到了经济损失，旅客的赔付与旅客每分钟的时间价值相关。经计算，昆明长水机场使用 A-CDM 后，客运航班共节省 29.99 万元，如表 2 所示。

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

表 2 离港旅客延误节省的花销

指标项	数值
旅客延误总时长-建前 (min)	209467610
旅客延误总时长-建后 (min)	208095238
节省总时长 (min)	1372372
旅客每分钟时间价值	¥0.44
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
离港旅客节省的损失花销 $b_{2,客运}$ (万元)	29.99

A-CDM 建设前后离港旅客延误平均时长如图 2 所示。图 2 计算出每一天离港旅客平均延误时长，从总体来看，A-CDM 建设后数据的波动较小，说明 A-CDM 的使用减少了离港旅客延误时长，进而减少了旅客的经济损失。

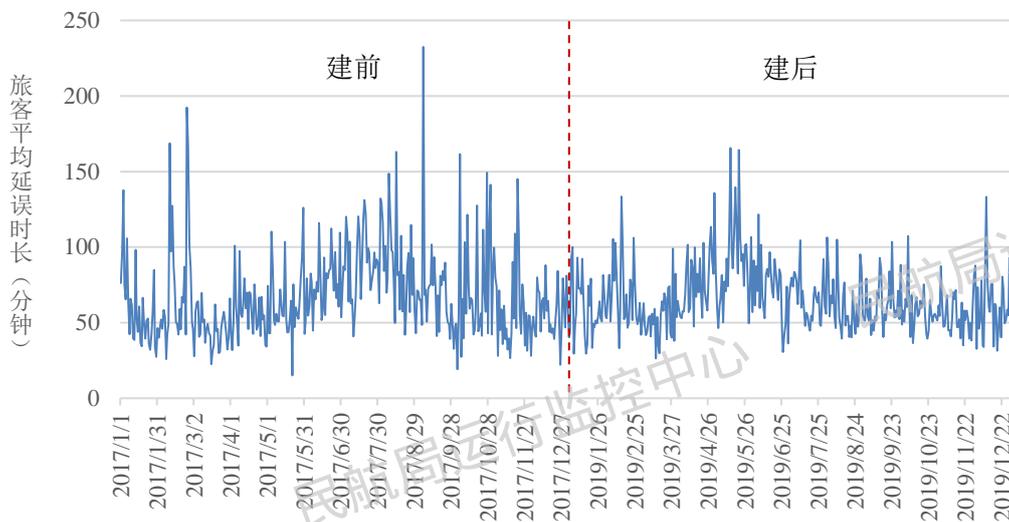


图 2 A-CDM 建设前后离港旅客延误平均时长

三、到港旅客晚下机损失花销

在机场运行中会出现航班到港正常，但开舱门时间过晚导致旅客晚下机，对于乘坐这部分航班的旅客来说会造成经济损失，旅客的赔付与旅客每分钟的时间价值相关。经计算，昆明长水机场使用 A-CDM 后，客运航班共节省 1142.73 万元，如表 3 所示。

表 3 到港旅客延误节省的花销

指标项	数值
旅客晚下机总时长-建前 (min)	385203226
旅客晚下机总时长-建后 (min)	332917600
节省总时长 (min)	52285626
旅客每分钟时间价值	¥0.44
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
到港旅客晚下机节省的损失花销 $b_{3,客运}$ (万元)	1142.73

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

A-CDM 建设前后到港旅客晚下机时长如图 3 所示。图 3 计算出每一天的到港旅客晚下机平均时长，从总体来看，A-CDM 建设后数据的波动较小，说明 A-CDM 的使用减少了到港旅客晚下机时长，进而减少了旅客的经济损失。

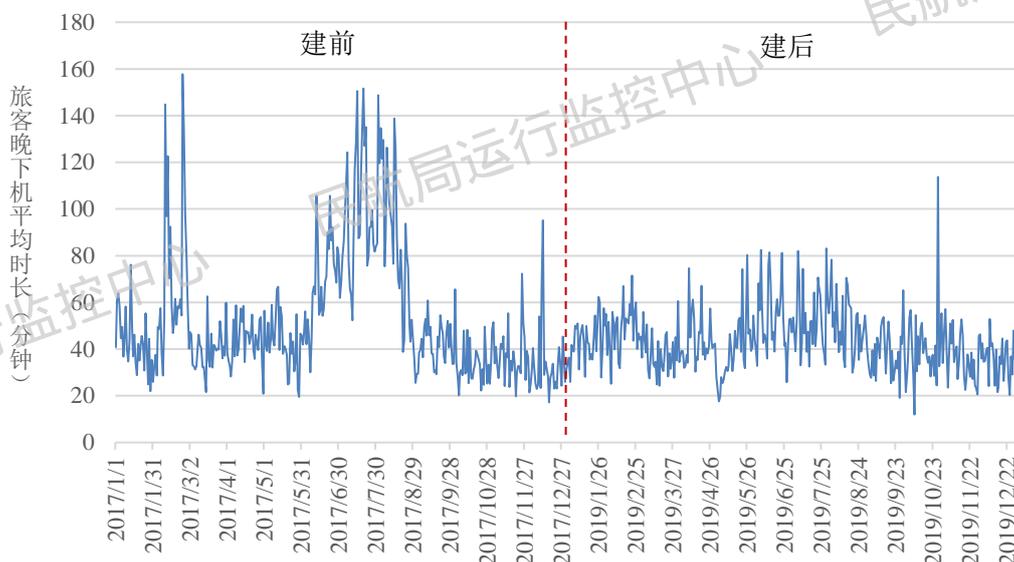


图 3 A-CDM 建设前后到港旅客晚下机平均时长

四、繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销

据统计，A-CDM 使用后可以优化离港航班的滑出路径，进而减少航班的滑行时间，节省相应的地面服务花销。该指标计算繁忙时段离港航班滑出节省的时长，并根据地面服务每分钟的花费计算繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销。通过数据分析发现 A-CDM 的使用没有减少繁忙时段离港航班的滑出时长，反而带来了相应的经济损失。经计算，昆明长水机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班的滑出地面服务花销损失达 113.87 万元，如表 4 所示。

表 4 离港航班滑出节省的地面服务花销

指标项	数值
繁忙时段单个离港航班滑出时长 (min) -建前	19.93
繁忙时段单个离港航班滑出时长 (min) -建后	21.95
繁忙时段减少的离港航班滑出时长 (min)	-13866.24
地面服务每分钟花费	¥164.24
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
离港航班滑出节省的地面服务花销 b_4 (万元)	-113.87

A-CDM 建设前后繁忙时段离港航班平均滑出时长如图 4 所示。图 4 计算出每一天的繁忙时段离港航班平均滑出时长，从总体来看，A-CDM 建设后数据的波动较大，说明 A-CDM 的使用增加了繁忙时段离港航班平均滑出时长，造成了相应的损失花销。

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

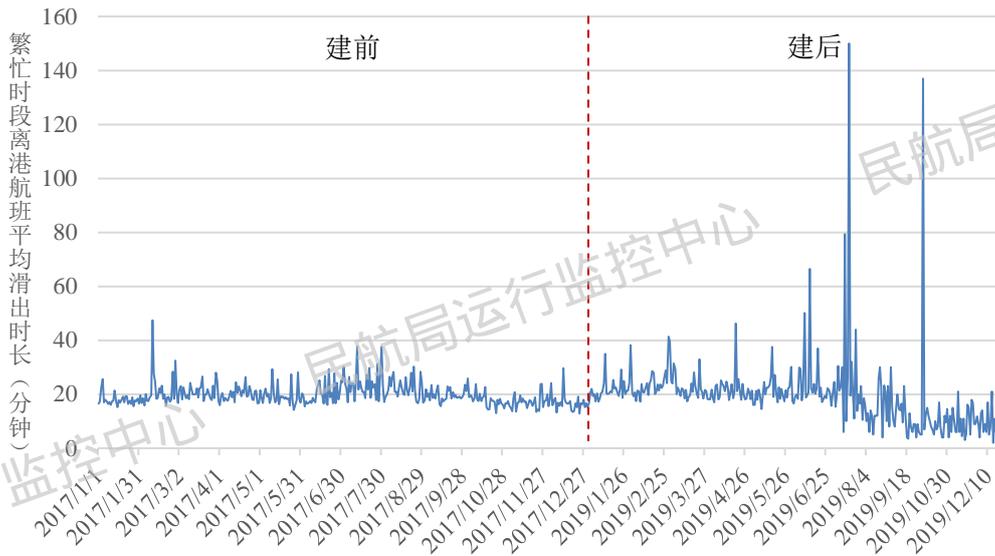


图 4 A-CDM 建设前后繁忙时段离港航班平均滑出时长

五、繁忙时段到港航班滑入节省的地面服务花销

据统计，A-CDM 使用后可以优化到港航班的滑入路径，进而减少航班的滑行时间，节省相应的地面服务花销。该指标计算出到港航班节省的滑入总时长，并根据地面服务每分钟的花费计算机场到港航班滑入节省的地面服务花销。通过数据分析发现 A-CDM 的使用没有减少到港航班的滑入时长，反而带来了相应的经济损失。经计算，昆明长水机场使用 A-CDM 后，客运和货运到港航班的滑入地面服务花销损失达 280.30 万元，如表 5 所示。

表 5 到港航班滑入节省的地面服务花销

指标项	数值
繁忙时段单个到港航班滑入时长-建前 (min)	8.57
繁忙时段单个到港航班滑入时长-建后 (min)	11.20
减少的到港航班滑入时长 (min)	-34131.60
地面服务每分钟花费	¥164.24
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
到港航班滑入节省的地面服务花销 b_5 (万元)	-280.30

A-CDM 建设前后繁忙时段到港航班平均滑入时长如图 5 所示。图 5 计算出每一天的繁忙时段到港航班平均滑入时长，从总体来看 A-CDM 建设后数据的波动较大，说明 A-CDM 的使用增加了到港航班平均滑入时长，造成了相应的损失花销。

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

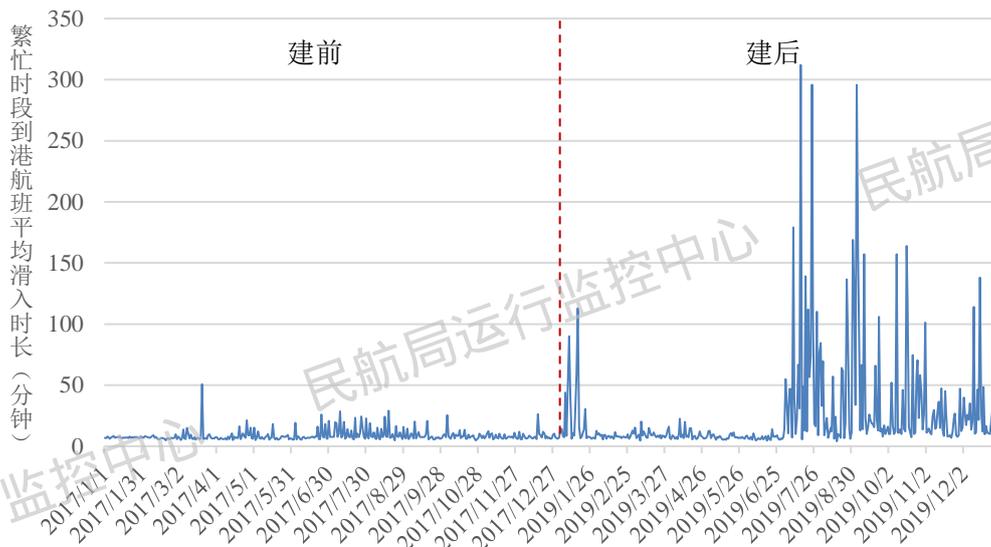


图 5 A-CDM 建设前后繁忙时段到港航班平均滑入时长

六、离港航班滑出燃油排放

根据指标四的分析，A-CDM 使用后会减少离港航班的滑出时长，进而节省了航班滑出时的燃油排放花销。本指标根据飞机尾流型号计算节省的燃油消耗重量，然后根据排放单位燃料不同物质的价格评估离港航班滑出节省的燃油排放花销。通过数据分析发现 A-CDM 的使用没有减少离港航班的滑出燃油排放，反而带来了相应的经济损失。经计算，昆明长水机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班离港航班滑出燃油排放损失达 17.75 万元，如表 6 所示。

表 6 离港航班滑出燃油排放节省的花销

指标项	数值
建前单个离港航班滑出时长-重型机 (min)	21.87
建后单个离港航班滑出时长-重型机 (min)	25.16
离港航班滑出节省时长 (min) -重型机	-5896.60
离港航班滑出节省的燃油消耗-重型机 (kg)	-100242.14
建前单个离港航班滑出时长-中型机 (min)	19.84
建后单个离港航班滑出时长-中型机 (min)	21.10
离港航班滑出节省时长 (min) -中型机	-45582.18
离港航班滑出节省的燃油消耗-中型机 (kg)	-515078.67
滑行平均燃油消耗-重型机 (kg/min)	17 ^[1]
滑行平均燃油消耗-中型机 (kg/min)	11.3 ^[1]
排放每公斤燃料中 CO ₂ 的费用	¥0.39
排放每公斤燃料中 H ₂ O 的费用	¥0.04
排放每公斤燃料中 SO ₂ 的费用	¥0.009
排放每公斤燃料中 HC 的费用	¥0.08
排放每公斤燃料中 NO _x 的费用	¥0.03
排放每公斤燃料中 CO 的费用	¥0.02

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
离港航班滑出节省的燃油排放花销-重型机 (万元)	-2.89
离港航班滑出节省的燃油排放花销-中型机 (万元)	-14.86
离港航班滑出节省的燃油排放花销 b_6 (万元)	-17.75

七、到港航班滑入燃油排放

根据指标五的分析，A-CDM 使用后会减少到港航班的滑入时长，进而节省了航班滑入时的燃油排放花销。本指标根据飞机尾流型号计算节省的燃油消耗重量，然后根据排放单位燃料不同物质的价格评估到港航班滑入节省的燃油排放花销。通过数据分析发现 A-CDM 的使用没有减少到港航班的滑入燃油排放，反而带来了相应的经济损失。经计算，昆明长水机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班到港航班滑入燃油排放损失达 33.21 万元，如表 7 所示。

表 7 到港航班滑入燃油排放节省的花销

指标项	数值
建前单个到港航班滑入时长-重型机 (min)	8.55
建后单个到港航班滑入时长-重型机 (min)	15.26
到港航班滑入节省时长-重型机 (min)	-11059.89
到港航班滑入节省的燃油消耗-重型机 (kg)	-188018.20
建前单个到港航班滑入时长-中型机 (min)	8.57
建后单个到港航班滑入时长-中型机 (min)	10.99
到港航班滑入节省时长-中型机 (min)	-85239.92
到港航班滑入节省的燃油消耗-中型机 (kg)	-963211.13
滑行平均燃油消耗-重型机 (kg/min)	17 ^[1]
滑行平均燃油消耗-中型机 (kg/min)	11.3 ^[1]
排放每公斤燃料中 CO ₂ 的费用	¥0.39
排放每公斤燃料中 H ₂ O 的费用	¥0.04
排放每公斤燃料中 SO ₂ 的费用	¥0.009
排放每公斤燃料中 HC 的费用	¥0.08
排放每公斤燃料中 NO _x 的费用	¥0.03
排放每公斤燃料中 CO 的费用	¥0.02
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
到港航班滑入节省的燃油排放花销-重型机 (万元)	-5.42
到港航班滑入节省的燃油排放花销-中型机 (万元)	-27.79
到港航班滑入节省的燃油排放花销 b_7 (万元)	-33.21

八、地勤人员准时到位

航班过站期间，需要地勤人员准时到位对航班进行保障。A-CDM 的使用可以精准预计航班到港时间，减少地勤人员因到岗过早而造成的成本浪费。本指标根据飞机尾流型号来评估节省的地勤人员

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

等待花销。经计算，昆明长水机场使用 A-CDM 后，客运航班节省的地勤人员花销共 894.35 万元，如表 8 所示。

表 8 地勤人员准时到位节省的花销

指标项	数值
平均减少的等待时长 (min)	2 ^[1]
重型机数量	4113
中型机数量	88246
平均每分钟人力消耗-重型机	¥173.01
平均每分钟人力消耗-中型机	¥118.62
地勤人员节省的占比	80% ^[1]
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
节省的地勤人员花销 $b_{8, \text{客运}}$ (万元)	894.35

九、地勤资源设备花销

航班过站期间，需要地勤资源设备准时到位对航班进行保障。A-CDM 的使用可以精准预计航班到港时间，减少因地勤资源设备到位过早而造成的成本浪费。本指标根据飞机尾流型号来评估节省的地勤资源设备等待花销。经计算，昆明长水机场使用 A-CDM 后，客运航班节省的地勤资源设备花销共 223.59 万元，如表 9 所示。

表 9 地勤资源设备利用节省的花销

指标项	数值
平均减少的等待时长 (min)	2 ^[1]
重型机数量	2921
中型机数量	76388
平均每分钟人力消耗-重型机	¥173.01
平均每分钟人力消耗-中型机	¥118.62
地勤资源节省的占比	20% ^[1]
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
节省的地勤资源花销 $b_{9, \text{客运}}$ (万元)	223.59

十、临界航班节省费用

为追求航班正常目标，A-CDM 系统会重点协调临界航班。本指标评估协调成功的临界航班所节省的费用。经计算，昆明长水机场使用 A-CDM 后，协调成功的临界航班所节省的费用为 1487.68 万元，如表 10 所示。

表 10 临界航班节省的花销

指标项	数值
临界航班数量	6993
临界航班挽救总时长 (min)	110161

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
航班延误每分钟花销	¥270.09
A-CDM 贡献率	50%
临界航班节省的费用 $b_{10,客运}$ (万元)	1487.68

十一、调时航班节省费用

A-CDM 系统支持航班计划动态调整工作的实施，若调时航班起飞时间提前告知旅客，则减少了旅客的时间花销损失。本指标评估调时航班节省的旅客时间花销。旅客时间花销按照旅客的时间成本进行计算，昆明长水机场使用 A-CDM 后，调时航班节省的费用为 23.08 万元，如表 11 所示。

表 11 调时航班节省的花销

指标项	数值
调时航班数量	101
调时航班旅客数量	16263
调时航班节省的旅客赔付总时长 (min)	1056020
旅客每分钟时间价值	¥0.44
A-CDM 贡献率	50%
调时航班节省的费用 $b_{11,客运}$ (万元)	23.08

第三节 整体收益评估

由第一节可知，昆明长水机场对 A-CDM 的直接投入用 C 表示， $C = 940$ 万元。

根据第二节的内容计算昆明长水机场使用 A-CDM 后的间接效益， B 计算公式为：

$$B = \sum_{i=1}^{11} b_i \quad (1)$$

利用式 (1) 计算得到机场间接效益 $B = 3918.42$ 万元。

昆明长水机场整体收益为：

$$E = B - C = 2978.42 \quad (2)$$

昆明长水机场整体收益为 2978.42 万元。

第三章 成本收回分析

昆明长水机场对 A-CDM 的直接投入 $C = 940$ 万元，使用 A-CDM 后经济效益 $B = 3918.42$ 万元。

2019 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日昆明长水机场客运航班和货运航班用 F 表示， $F = 357007$ 架次。期间每月航班起降架次如图 6 所示。

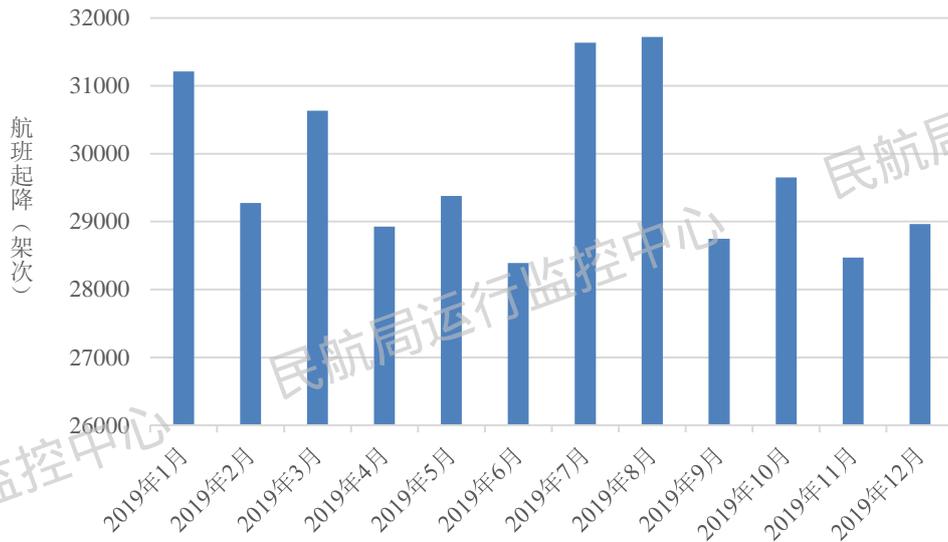


图6 A-CDM 建后每月航班起降架次

每个航班的收益为:

$$V = \frac{B}{F} \quad (3)$$

利用 (3) 求得每个航班的收益为 109.76 元。

结合昆明长水机场 A-CDM 建成后每个月的航班量, 以及每个航班的单价收益计算机场收益回本时间, 如图 7 所示。

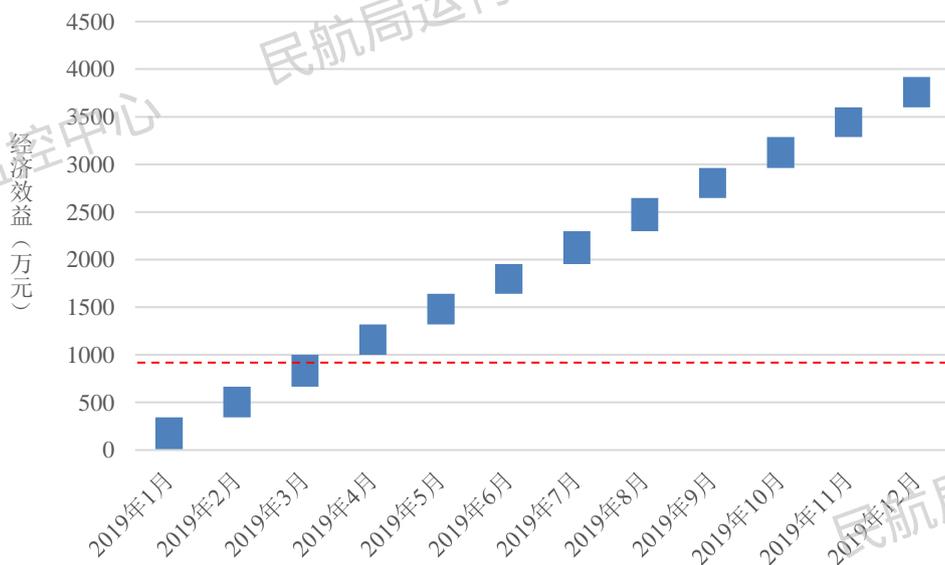


图7 收益回本时间

根据图 7 可知, 昆明长水机场于 2019 年 3 月收回投入成本。

附录三 基于机场运行效率分析的青岛流亭机场 A-CDM 经济效益评估

第一章 总体概述

第一节 整体评估

本报告评估机场建设和使用 A-CDM 后获得经济效益的情况。A-CDM 的经济情况包括两个部分：建设 A-CDM 的直接投入和 A-CDM 使用后带来的间接效益。报告对机场使用 A-CDM 后的经济效益进行评估，并分析机场收回成本和开始盈利的时间。

本报告第二章第一节介绍了机场的直接投入，第二节通过 11 项指标详细介绍了机场的间接效益，第三节对机场整体收益进行了评估。第三章介绍了成本收回的方法，并评估机场收回成本的时间。

第二节 数据说明

青岛流亭机场 A-CDM 系统于 2019 年 4 月 1 日投入使用。本报告选取 2019 年 4 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日共计 9 个月的运行数据，作为 A-CDM 使用后效益分析的样本数据，为保证 A-CDM 建设前与使用后对比的样本数据时间长度的一致性，本报告选取 2018 年 7 月 1 日到 2019 年 3 月 31 日共计 9 个月的运行数据，作为 A-CDM 建设前的样本数据。

第二章 效益评估

第一节 机场直接投入

经计算评估，青岛流亭机场建设 A-CDM 系统的总金额为 650 万元，其中系统建设投入预估费用为 600 万元，2019 年服务费用为 50 万元。

第二节 机场间接效益

本节详细分析了 A-CDM 给机场带来的间接效益，列出了 CTOT 符合度、离港旅客损失花销、到港旅客晚下机损失花销等 11 项指标，并逐一进行详细分析和说明，有关内容如下：

一、CTOT 符合度

在实际运行中，遇到流量控制时，航班的起飞时间会被调整，若调整后的航班目标起飞时间不在 CTOT 有效范围内，则认为会造成放行时隙的损失。经计算，青岛流亭机场使用 A-CDM 后，在时隙损失减少的情况下，客运航班和货运航班共带来了 1538.99 万元的经济效益，如表 1 所示。

表 1 CTOT 符合度节省的经济费用

指标项	数值
错失 CTOT 的航班平均时隙损失时长-建前 (min)	33.80
错失 CTOT 的航班平均时隙损失时长-建后 (min)	17.62
航班减少时隙损失时长总和 (min)	96819.92
航班延误每分钟花销	¥371.91
A-CDM 时隙节省贡献率	50% ^[1]
节省的时隙损失花销 b_1 (万元)	1538.99

A-CDM 的使用对时隙损失时长情况的改善，在图 1 中进行了分析。图 1 计算出每一天的放行时隙损失平均时长，从总体来看，A-CDM 建设后航班时隙损失的平均值低于 A-CDM 建设前航班时隙损失的平均值，说明 A-CDM 的使用减少了时隙损失时长，进而减少了相应的经济损失。

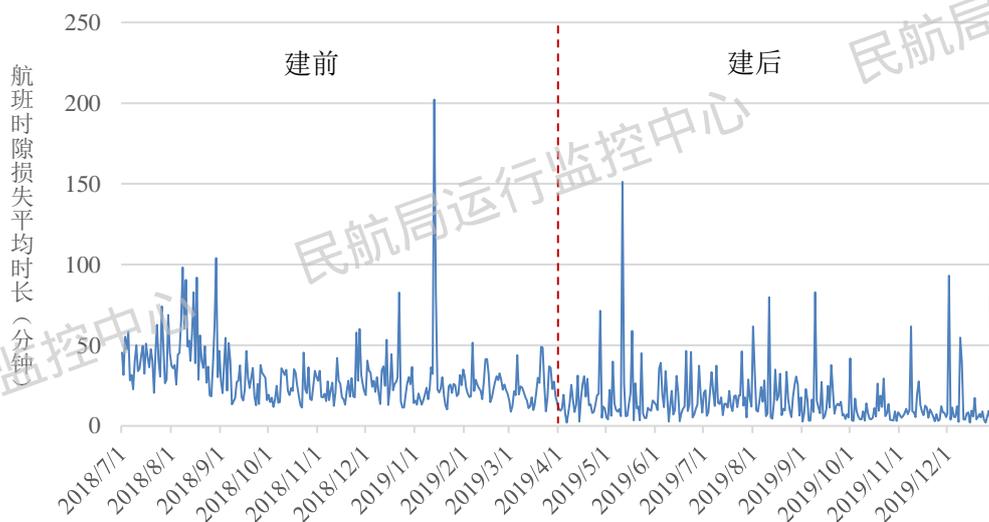


图 1 A-CDM 建设前后航班时隙损失平均时长

二、离港旅客损失花销

在实际运行中，对于离港延误的航班，部分航班会在空中进行调整以避免到港延误，乘坐这部分航班的旅客没有受到经济损失；而其他到港延误的航班，对于其旅客来说则受到了经济损失，旅客的赔付与旅客每分钟的时间价值相关。通过数据分析发现 A-CDM 的使用没有减少离港旅客到港延误的情况，反而给旅客带来了经济损失。经计算，青岛流亭机场使用 A-CDM 后，离港旅客损失花销没有改善，客运航班给旅客带来的损失花销达 256.78 万元，如表 2 所示。

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

表 2 离港旅客延误节省的花销

指标项	数值
旅客延误总时长-建前 (min)	10161933
旅客延误总时长-建后 (min)	20143598
节省总时长 (min)	-9981665
旅客每分钟时间价值	¥0.51
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
离港旅客节省的损失花销 $b_{2,客运}$ (万元)	-256.78

A-CDM 建设前后离港旅客延误平均时长如图 2 所示。图 2 计算出每一天离港旅客平均延误时长，从总体来看，A-CDM 建设后数据的波动较大，说明 A-CDM 的使用增加了离港旅客延误时长，造成了相应的损失花销。

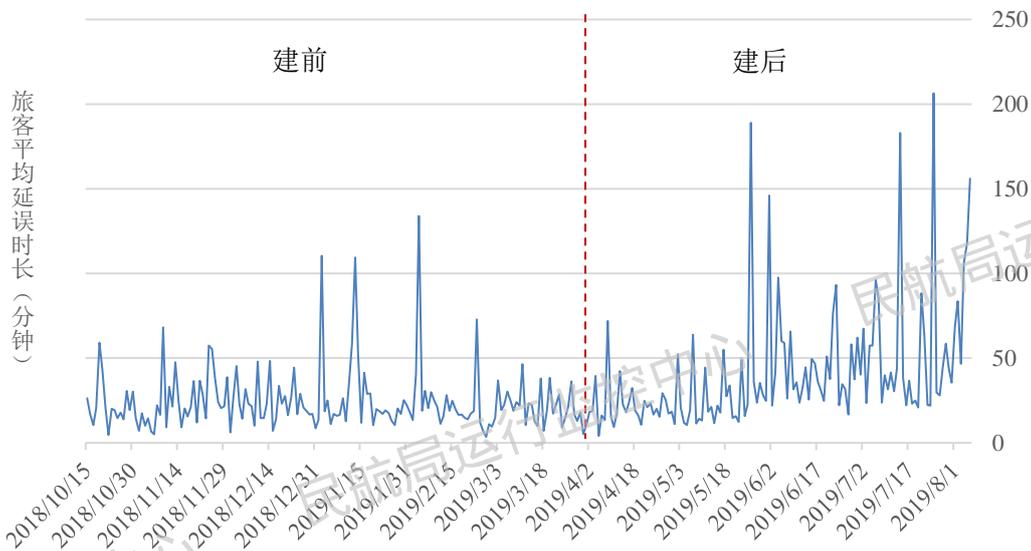


图 2 A-CDM 建设前后离港旅客延误平均时长

三、到港旅客晚下机损失花销

在机场运行中会出现航班到港正常，但开舱门时间过晚导致旅客晚下机，对于乘坐这部分航班的旅客来说会造成经济损失，旅客的赔付与旅客每分钟的时间价值相关。经计算，青岛流亭机场使用 A-CDM 后，客运航班共节省 90.66 万元，如表 3 所示。

表 3 到港旅客延误节省的花销

指标项	数值
旅客晚下机总时长-建前 (min)	4360868
旅客晚下机总时长-建后 (min)	836769
节省总时长 (min)	3524099
旅客每分钟时间价值	¥0.51

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
到港旅客晚下机节省的损失花销 $b_{3,客运}$ (万元)	90.66

A-CDM 建设前后到港旅客晚下机时长如图 3 所示。

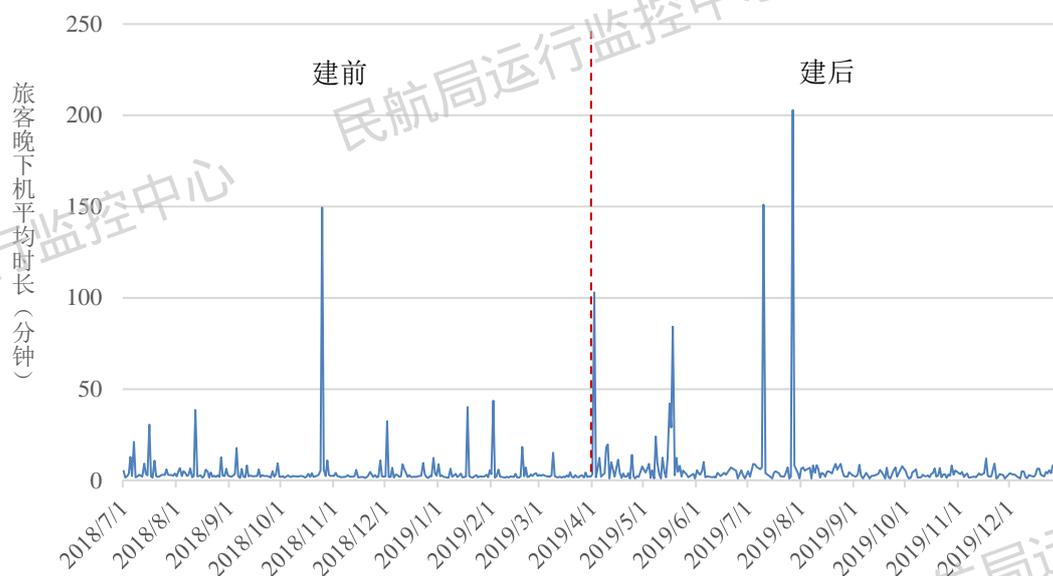


图 3 A-CDM 建设前后到港旅客晚下机平均时长

四、繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销

据统计，A-CDM 使用后可以优化离港航班的滑出路径，进而减少航班的滑行时间，节省相应的地面服务花销。该指标计算繁忙时段离港航班滑出节省的时长，并根据地面服务每分钟的花费计算繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销。通过分析发现 A-CDM 的使用没有减少繁忙时段离港航班的滑出时长，反而带来了相应的经济损失。经计算，青岛流亭机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班的滑出地面服务花销损失达 26.74 万元，如表 4 所示。

表 4 离港航班滑出节省的地面服务花销

指标项	数值
繁忙时段单个离港航班滑出时长 (min) -建前	18.73
繁忙时段单个离港航班滑出时长 (min) -建后	18.98
繁忙时段减少的离港航班滑出时长 (min)	-2766.68
地面服务每分钟花费	¥193.32
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
离港航班滑出节省的地面服务花销 b_4 (万元)	-26.74

A-CDM 建设前后繁忙时段离港航班平均滑出时长如图 4 所示。图 4 计算出每一天的繁忙时段离港航班平均滑出时长，从总体来看，A-CDM 建设后数据的波动较大，说明 A-CDM 的使用增加了繁

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

忙时段离港航班平均滑出时长，造成了相应的损失花销。青岛 A-CDM 建设前后繁忙时段离港航班平均滑出时长如图 4 所示。

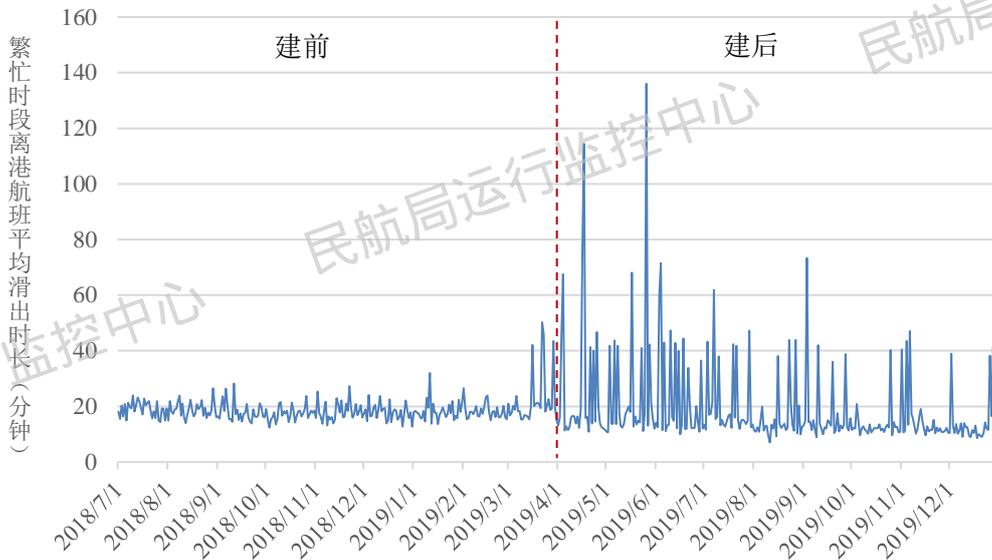


图 4 A-CDM 建设前后繁忙时段离港航班平均滑出时长

五、繁忙时段到港航班滑入节省的地面服务花销

据统计，A-CDM 使用后可以优化到港航班的滑入路径，进而减少航班的滑行时间，节省相应的地面服务花销。该指标计算出到港航班节省的滑入总时长，并根据地面服务每分钟的花费计算机场到港航班滑入节省的地面服务花销。通过数据分析发现 A-CDM 的使用没有减少到港航班的滑入时长，反而带来了相应的经济损失。经计算，青岛流亭机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班的滑入地面服务花销损失达 76.12 万元，如表 5 所示。

表 5 到港航班滑入节省的地面服务花销

指标项	数值
繁忙时段单个到港航班滑入时长-建前 (min)	8.79
繁忙时段单个到港航班滑入时长-建后 (min)	9.18
减少的到港航班滑入时长 (min)	-7936.83
地面服务每分钟花费	¥193.32
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
到港航班滑入节省的地面服务花销 b_5 (万元)	-76.12

A-CDM 建设前后繁忙时段到港航班平均滑入时长如图 5 所示。图 5 计算出每一天的繁忙时段到港航班平均滑入时长，从总体来看，A-CDM 建设后数据的波动较大，说明 A-CDM 的使用增加了繁忙时段到港航班平均滑入时长，造成了相应的损失花销。青岛 A-CDM 建设前后繁忙时段到港航班平均滑入时长如图 5 所示。

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

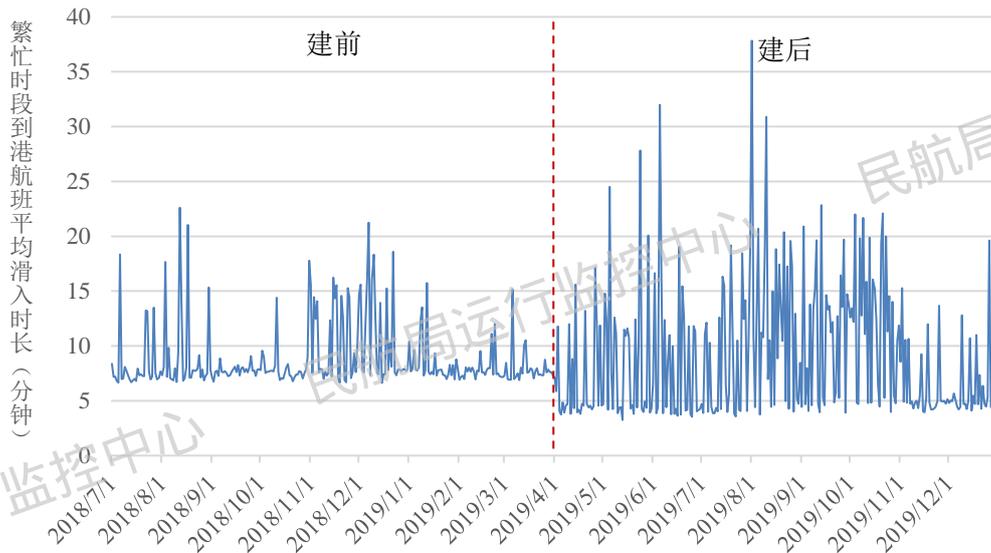


图5 A-CDM建设前后到港航班平均滑入时长

六、离港航班滑出燃油排放

根据指标四的分析，A-CDM使用后会减少离港航班的滑出时长，进而节省了航班滑出时的燃油排放花销。本指标根据飞机尾流型号计算节省的燃油消耗重量，然后根据排放单位燃料不同物质的价格评估离港航班滑出节省的燃油排放花销。经计算，青岛流亭机场使用A-CDM后，客运航班和货运航班离港航班滑出燃油排放共节省了40.98万元，如表6所示。

表6 离港航班滑出燃油排放节省的花销

指标项	数值
建前单个离港航班滑出时长-重型机 (min)	20.08
建后单个离港航班滑出时长-重型机 (min)	19.63
离港航班滑出节省时长 (min) -重型机	1503.49
离港航班滑出节省的燃油消耗-重型机 (kg)	25559.28
建前单个离港航班滑出时长-中型机 (min)	18.42
建后单个离港航班滑出时长-中型机 (min)	16.77
离港航班滑出节省时长 (min) -中型机	104522.17
离港航班滑出节省的燃油消耗-中型机 (kg)	1181100.51
滑行平均燃油消耗-重型机 (kg/min)	17 ^[1]
滑行平均燃油消耗-中型机 (kg/min)	11.3 ^[1]
排放每公斤燃料中 CO ₂ 的费用	¥0.46
排放每公斤燃料中 H ₂ O 的费用	¥0.05
排放每公斤燃料中 SO ₂ 的费用	¥0.01
排放每公斤燃料中 HC 的费用	¥0.09
排放每公斤燃料中 NO _x 的费用	¥0.04
排放每公斤燃料中 CO 的费用	¥0.03
A-CDM 贡献率	50% ^[1]

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
离港航班滑出节省的燃油排放花销-重型机（万元）	0.87
离港航班滑出节省的燃油排放花销-中型机（万元）	40.11
离港航班滑出节省的燃油排放花销 b_6 （万元）	40.98

七、到港航班滑入燃油排放

根据指标五的分析，A-CDM 使用后会减少到港航班的滑入时长，进而节省了航班滑入时的燃油排放花销。本指标根据飞机尾流型号计算节省的燃油消耗重量，然后根据排放单位燃料不同物质的价格评估到港航班滑入节省的燃油排放花销。通过数据分析发现 A-CDM 的使用没有减少到港航班的滑入燃油排放，反而带来了相应的经济损失。经计算，青岛流亭机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班到港航班滑入燃油排放损失达 78.46 万元，如表 7 所示。

表 7 到港航班滑入燃油排放节省的花销

指标项	数值
建前单个到港航班滑入时长-重型机（min）	5.44
建后单个到港航班滑入时长-重型机（min）	38.36
到港航班滑入节省时长-重型机（min）	-74429.95
到港航班滑入节省的燃油消耗-重型机（kg）	-1265309.11
建前单个到港航班滑入时长-中型机（min）	11.06
建后单个到港航班滑入时长-中型机（min）	12.88
到港航班滑入节省时长-中型机（min）	-92486.34
到港航班滑入节省的燃油消耗-中型机（kg）	-1045095.69
滑行平均燃油消耗-重型机（kg/min）	17 ^[1]
滑行平均燃油消耗-中型机（kg/min）	11.3 ^[1]
排放每公斤燃料中 CO ₂ 的费用	¥0.39
排放每公斤燃料中 H ₂ O 的费用	¥0.04
排放每公斤燃料中 SO ₂ 的费用	¥0.009
排放每公斤燃料中 HC 的费用	¥0.08
排放每公斤燃料中 NO _x 的费用	¥0.03
排放每公斤燃料中 CO 的费用	¥0.02
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
到港航班滑入节省的燃油排放花销-重型机（万元）	-42.97
到港航班滑入节省的燃油排放花销-中型机（万元）	-35.49
到港航班滑入节省的燃油排放花销 b_7 （万元）	-78.46

八、地勤人员准时到位

航班过站期间，需要地勤人员准时到位对航班进行保障。A-CDM 的使用可以精准预计航班到港时间，减少地勤人员因到岗过早而造成的成本浪费。本指标根据飞机尾流型号来评估节省的地勤人员等待花销。经计算，青岛流亭机场使用 A-CDM 后，客运航班节省的地勤人员花销共 1589.49 万元，

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

如表 8 所示。

表 8 地勤人员准时到位节省的花销

指标项	数值
平均减少的等待时长 (min)	2 ^[1]
重型机数量	6604
中型机数量	132671
平均每分钟人力消耗-重型机	¥203.64
平均每分钟人力消耗-中型机	¥139.62
地勤人员节省的占比	80% ^[1]
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
节省的地勤人员花销 $b_{8,客运}$ (万元)	1589.49

九、地勤资源设备花销

航班过站期间，需要地勤资源设备准时到位对航班进行保障。A-CDM 的使用可以精准预计航班到港时间，减少因地勤资源设备到位过早而造成的成本浪费。本指标根据飞机尾流型号来评估节省的地勤资源设备等待花销。经计算，青岛流亭机场使用 A-CDM 后，客运航班节省的地勤资源设备花销共 397.37 万元，如表 9 所示。

表 9 地勤资源设备利用节省的花销

指标项	数值
平均减少的等待时长 (min)	2 ^[1]
重型机数量	6604
中型机数量	132671
平均每分钟人力消耗-重型机	¥203.64
平均每分钟人力消耗-中型机	¥139.62
地勤资源设备节省的占比	20% ^[1]
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
节省的地勤资源花销 $b_{9,客运}$ (万元)	397.37

十、临界航班节省费用

为追求航班正常目标，A-CDM 系统会重点协调临界航班。本指标评估协调成功的临界航班所节省的费用。经计算，青岛流亭机场使用 A-CDM 后，协调成功的临界航班所节省的费用为 82.45 万元，如表 10 所示。

表 10 临界航班节省的花销

指标项	数值
临界航班数量	650
临界航班挽救总时长 (min)	5187
航班延误每分钟花销	¥317.91

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
A-CDM 贡献率	50%
临界航班节省的费用 b_{10} (万元)	82.45

十一、调时航班节省费用

A-CDM 系统支持航班计划动态调整工作的实施，若调时航班起飞时间提前告知旅客，则减少了旅客的时间花销损失。本指标评估调时航班节省的旅客时间花销。旅客时间花销按照旅客的时间成本进行计算，青岛流亭机场使用 A-CDM 后，调时航班节省的费用为 5.53 万元，如表 11 所示。

表 11 调时航班节省的花销

指标项	数值
调时航班数量	18
调时航班旅客数量	2197
调时航班节省的旅客赔付总时长 (min)	215120
旅客每分钟时间价值	¥0.51
A-CDM 贡献率	50%
调时航班节省的费用 $b_{11,客运}$ (万元)	5.53

第三节 整体收益评估

由第一节可知，青岛流亭机场对 A-CDM 的直接投入用 C 表示， $C = 650$ 万元。

根据第二节的内容计算青岛流亭机场使用 A-CDM 后的间接效益， B 计算公式为：

$$B = \sum_{i=1}^{11} b_i \quad (1)$$

利用式 (1) 计算得到机场间接效益 $B = 3307.37$ 万元。

青岛流亭机场整体收益为：

$$E = B - C = 2657.37 \quad (2)$$

青岛流亭机场整体收益为 2657.37 万元。

第三章 成本收回分析

青岛流亭机场对 A-CDM 的直接投入 $C = 650$ 万元，使用 A-CDM 后经济效益 $B = 3307.37$ 万元。

2019 年 4 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日青岛流亭机场起降客运航班和货运航班用 F 表示， $F = 144246$ 架次。期间每月航班起降架次如图 6 所示。



图6 A-CDM 建后每月航班起降架次

每个航班的收益为：

$$V = \frac{B}{F} \quad (3)$$

利用 (3) 求得每个航班的收益为 229.29 元。

结合青岛流亭机场 A-CDM 建成后每个月的航班量，以及每个航班的单价收益计算机场收益回本时间，如图 7 所示。

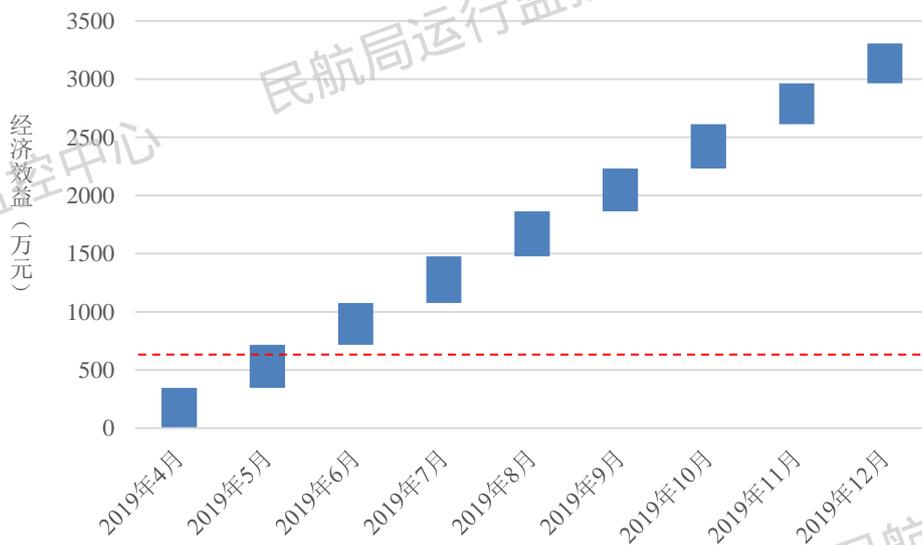


图7 收益回本时间

根据图 7 可知，青岛流亭机场于 2019 年 5 月收回投入成本。

附录四 基于机场运行效率分析的大连周水子机场 A-CDM 经济效益评估

第一章 总体概述

第一节 整体评估

本报告评估机场建设和使用 A-CDM 后获得经济效益的情况。A-CDM 的经济情况包括两个部分：建设 A-CDM 的直接投入和 A-CDM 使用后带来的间接效益。报告对机场使用 A-CDM 后的经济效益进行评估，并分析机场收回成本和开始盈利的时间。

本报告第二章第一节介绍了机场的直接投入，第二节通过 10 项指标详细介绍了机场的间接效益，第三节对机场整体收益进行了评估。第三章介绍了成本收回的方法，并评估机场收回成本的时间。

第二节 数据说明

大连周水子机场 A-CDM 系统于 2019 年 4 月 1 日投入使用。本报告选取 2019 年 4 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日共计 9 个月的运行数据，作为 A-CDM 使用后效益分析的样本数据，为保证 A-CDM 建设前与使用后对比的样本数据时间长度的一致性，本报告选取 2018 年 7 月 1 日到 2019 年 3 月 31 日共计 9 个月的运行数据，作为 A-CDM 建设前的样本数据。

第二章 效益评估

第一节 机场直接投入

经计算评估，大连周水子机场建设 A-CDM 系统的总金额为 800 万元，其中系统建设投入预估费用为 750 万元，2019 年服务费用为 50 万元。

第二节 机场间接效益

本节详细分析了 A-CDM 给机场带来的间接效益，列出了 CTOT 符合度、离港旅客损失花销、到港旅客晚下机损失花销等 10 项指标，并逐一进行详细分析和说明，有关内容如下：

一、CTOT 符合度

在实际运行中，遇到流量控制时，航班的起飞时间会被调整，若调整后的航班目标起飞时间不在

CTOT 有效范围内，则认为会造成放行时隙的损失。经计算，大连周水子机场使用 A-CDM 后，在时隙损失减少的情况下，客运航班和货运航班共带来了 154.85 万元的经济效益，如表 1 所示。

表 1 CTOT 符合度节省的经济费用

指标项	数值
错失 CTOT 的航班平均时隙损失时长-建前 (min)	35.89
错失 CTOT 的航班平均时隙损失时长-建后 (min)	33.78
航班减少时隙损失时长总和 (min)	11422.40
航班延误每分钟花销	¥271.14
A-CDM 时隙节省贡献率	50% ^[1]
节省的时隙损失花销 b_1 (万元)	154.85

A-CDM 的使用对时隙损失时长情况的改善，在图 1 中进行了分析。图 1 计算出每一天的放行时隙损失平均时长，从总体来看，A-CDM 建设后数据的波动较小，说明 A-CDM 的使用减少了时隙损失时长，进而减少了相应的经济损失。

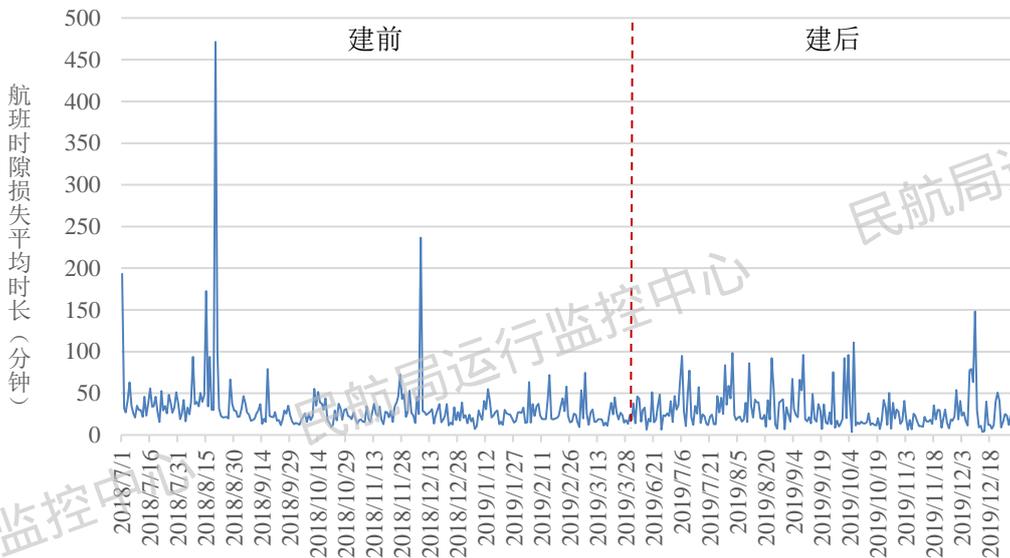


图 1 A-CDM 建设前后航班时隙损失平均时长

二、到港旅客晚下机损失花销

在机场运行中会出现航班到港正常，但开舱门时间过晚导致旅客晚下机，对于乘坐这部分航班的旅客来说会造成经济损失，旅客的赔付与旅客每分钟的时间价值相关。通过数据分析发现 A-CDM 使用没有减少到港旅客晚下机时长，反而带来了相应的经济损失。经计算，大连周水子机场使用 A-CDM 后，客运航班到港旅客晚下机损失花销达 8.81 万元，如表 2 所示。

表 2 到港旅客延误节省的花销

指标项	数值
旅客晚下机总时长-建前 (min)	10897778
旅客晚下机总时长-建后 (min)	11299539

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
节省总时长 (min)	-401761
旅客每分钟时间价值	¥0.44
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
到港旅客晚下机节省的损失花销 $b_{2,客运}$ (万元)	-8.81

A-CDM 建设前后到港旅客晚下机时长如图 2 所示。

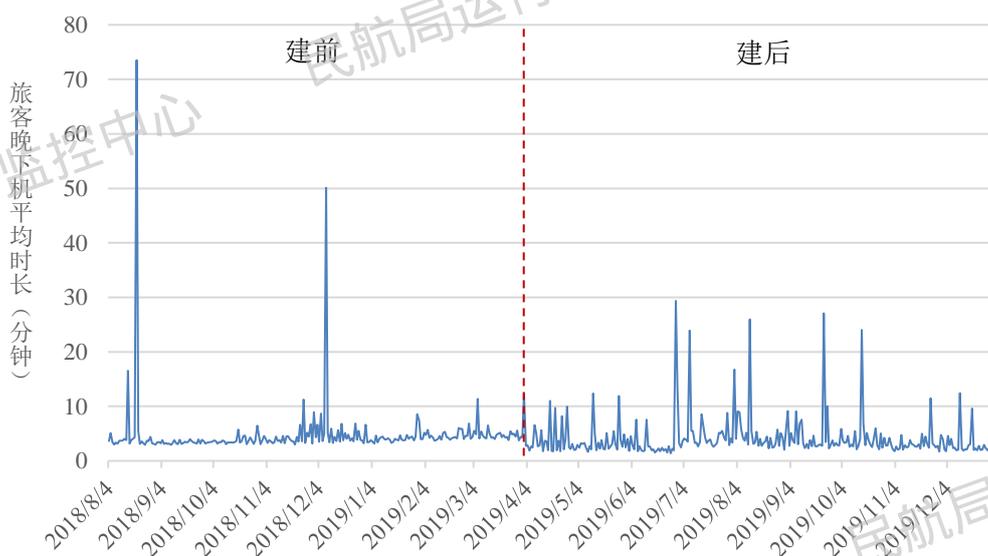


图 2 A-CDM 建设前后到港旅客晚下机平均时长

三、繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销

据统计，A-CDM 使用后可以优化离港航班的滑出路径，进而减少航班的滑行时间，节省相应的地面服务花销。该指标计算繁忙时段离港航班滑出节省的时长，并根据地面服务每分钟的花费计算繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销。经计算，大连周水子机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班的滑出地面服务花销共节省了 424.99 万元，如表 3 所示。

表 3 离港航班滑出节省的地面服务花销

指标项	数值
繁忙时段单个离港航班滑出时长 (min) -建前	18.58
繁忙时段单个离港航班滑出时长 (min) -建后	13.95
繁忙时段减少的离港航班滑出时长 (min)	51551.37
地面服务每分钟花费	¥164.88
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
离港航班滑出节省的地面服务花销 b_3 (万元)	424.99

A-CDM 建设前后繁忙时段离港航班平均滑出时长如图 3 所示。图 3 计算出每一天的繁忙时段离港航班平均滑出时长，从总体来看，A-CDM 建设后数据的波动较小，说明 A-CDM 的使用减少了繁

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

忙时段离港航班平均滑出时长，进而减少了繁忙时段离港航班滑出地面服务花销。

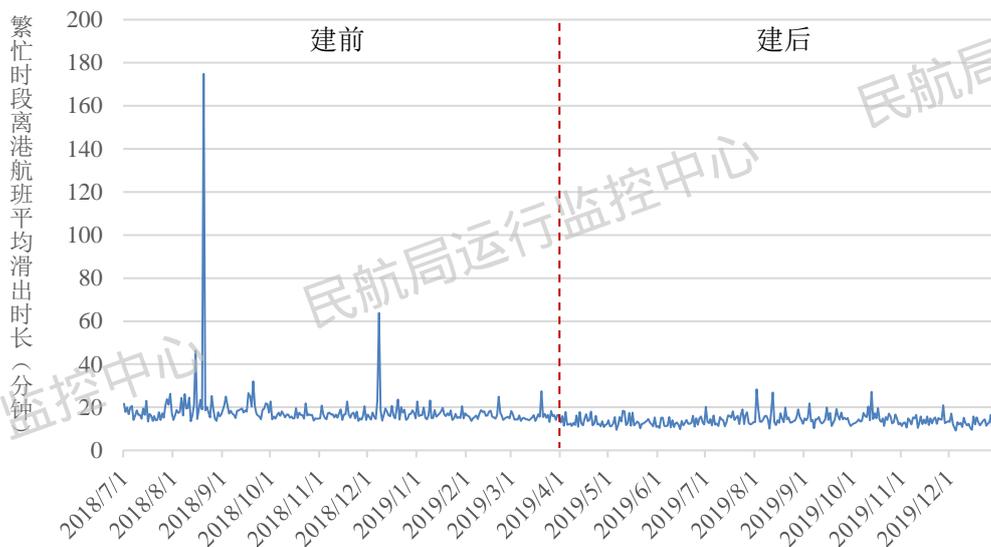


图3 A-CDM 建设前后繁忙时段离港航班平均滑出时长

四、繁忙时段到港航班滑入节省的地面服务花销

据统计，A-CDM 使用后可以优化到港航班的滑入路径，进而减少航班的滑行时间，节省相应的地面服务花销。该指标计算出到港航班节省的滑入总时长，并根据地面服务每分钟的花费计算机场繁忙时段到港航班滑入节省的地面服务花销。经计算，大连周水子机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班的滑入地面服务花销共节省了 236.57 万元，如表 4 所示。

表 4 到港航班滑入节省的地面服务花销

指标项	数值
繁忙时段单个到港航班滑入时长-建前 (min)	8.30
繁忙时段单个到港航班滑入时长-建后 (min)	6.97
减少的到港航班滑入时长 (min)	28696.19
地面服务每分钟花费	¥164.88
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
到港航班滑入节省的地面服务花销 b_4 (万元)	236.57

A-CDM 建设前后繁忙时段到港航班平均滑入时长如图 4 所示。图 4 计算出每一天的繁忙时段到港航班平均滑入时长，从总体来看 A-CDM 建设后平均滑入时长小于 A-CDM 建设前平均滑入时长，说明 A-CDM 的使用减少了繁忙时段到港航班平均滑入时长，进而减少了繁忙时段到港航班滑入地面服务花销。

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

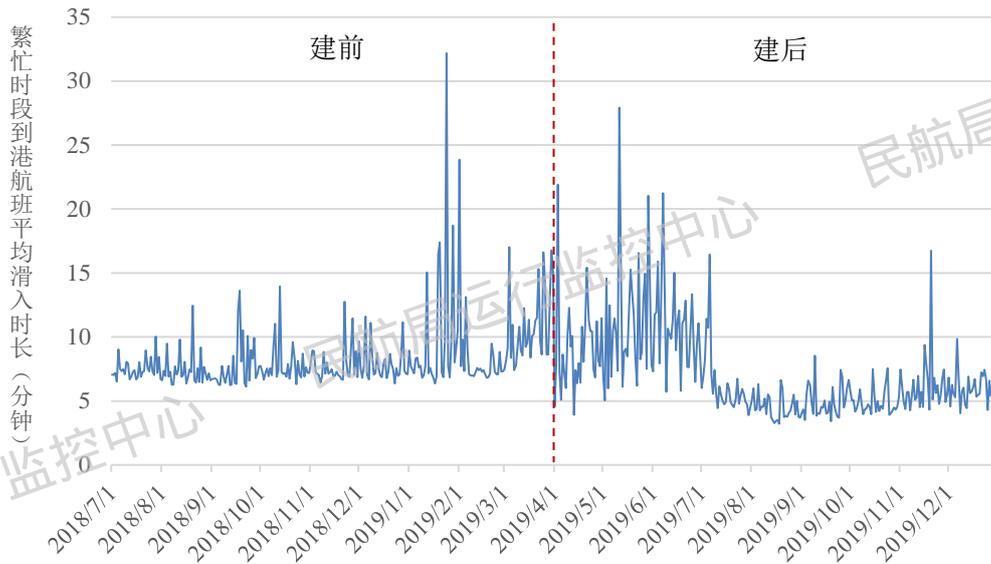


图4 A-CDM建设前后繁忙时段到港航班平均滑入时长

五、离港航班滑出燃油排放

根据指标三的分析，A-CDM使用后会减少离港航班的滑出时长，进而节省了航班滑出时的燃油排放花销。本指标根据飞机尾流型号计算节省的燃油消耗重量，然后根据排放单位燃料不同物质的价格评估离港航班滑出节省的燃油排放花销。经计算，大连周水子机场使用A-CDM后，客运航班和货运航班离港航班滑出燃油排放节省了78.45万元，如表5所示。

表5 离港航班滑出燃油排放节省的花销

指标项	数值
建前单个离港航班滑出时长-重型机 (min)	16.51
建后单个离港航班滑出时长-重型机 (min)	14.10
离港航班滑出节省时长 (min) -重型机	2879.91
离港航班滑出节省的燃油消耗-重型机 (kg)	48958.40
建前单个离港航班滑出时长-中型机 (min)	17.37
建后单个离港航班滑出时长-中型机 (min)	13.32
离港航班滑出节省时长 (min) -中型机	235156.28
离港航班滑出节省的燃油消耗-中型机 (kg)	2657265.95
建前单个离港航班滑出时长-轻型机 (min)	14.18
建后单个离港航班滑出时长-轻型机 (min)	11.30
离港航班滑出节省时长 (min) -轻型机	415.00
离港航班滑出节省的燃油消耗-轻型机 (kg)	2365.50
滑行平均燃油消耗-重型机 (kg/min)	17 ^[1]
滑行平均燃油消耗-中型机 (kg/min)	11.3 ^[1]
滑行平均燃油消耗-轻型机 (kg/min)	5.7 ^[1]
排放每公斤燃料中CO ₂ 的费用	¥0.39

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
排放每公斤燃料中 H ₂ O 的费用	¥0.04
排放每公斤燃料中 SO ₂ 的费用	¥0.009
排放每公斤燃料中 HC 的费用	¥0.08
排放每公斤燃料中 NO _x 的费用	¥0.03
排放每公斤燃料中 CO 的费用	¥0.02
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
离港航班滑出节省的燃油排放花销-重型机 (万元)	1.42
离港航班滑出节省的燃油排放花销-中型机 (万元)	76.96
离港航班滑出节省的燃油排放花销-轻型机 (万元)	0.07
离港航班滑出节省的燃油排放花销 b_5 (万元)	78.45

六、到港航班滑入燃油排放

根据指标四的分析，A-CDM 使用后会减少到港航班的滑入时长，进而节省了航班滑入时的燃油排放花销。本指标根据飞机尾流型号计算节省的燃油消耗重量，然后根据排放单位燃料不同物质的价格评估到港航班滑入节省的燃油排放花销。经计算，大连周水子机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班滑入燃油排放节省了 20.01 万元，如表 6 所示。

表 6 到港航班滑入燃油排放节省的花销

指标项	数值
建前单个到港航班滑入时长-重型机 (min)	6.69
建后单个到港航班滑入时长-重型机 (min)	8.31
到港航班滑入节省时长-重型机 (min)	-1770.45
到港航班滑入节省的燃油消耗-重型机 (kg)	-30097.70
建前单个到港航班滑入时长-中型机 (min)	8.25
建后单个到港航班滑入时长-中型机 (min)	7.05
到港航班滑入节省时长-中型机 (min)	63815.00
到港航班滑入节省的燃油消耗-中型机 (kg)	721109.47
建前单个到港航班滑入时长-轻型机 (min)	6.35
建后单个到港航班滑入时长-轻型机 (min)	6.55
到港航班滑入节省时长-轻型机 (min)	-28.14
到港航班滑入节省的燃油消耗-轻型机 (kg)	-160.37
滑行平均燃油消耗-重型机 (kg/min)	17 ^[1]
滑行平均燃油消耗-中型机 (kg/min)	11.3 ^[1]
滑行平均燃油消耗-轻型机 (kg/min)	5.7 ^[1]
排放每公斤燃料中 CO ₂ 的费用	¥0.39
排放每公斤燃料中 H ₂ O 的费用	¥0.04
排放每公斤燃料中 SO ₂ 的费用	¥0.009
排放每公斤燃料中 HC 的费用	¥0.08
排放每公斤燃料中 NO _x 的费用	¥0.03

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
排放每公斤燃料中 CO 的费用	¥0.02
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
到港航班滑入节省的燃油排放花销-重型机 (万元)	-0.87
到港航班滑入节省的燃油排放花销-中型机 (万元)	20.88
到港航班滑入节省的燃油排放花销-轻型机 (万元)	-0.0046
到港航班滑入节省的燃油排放花销 b_6 (万元)	20.01

七、地勤人员准时到位

航班过站期间，需要地勤人员准时到位对航班进行保障。A-CDM 的使用可以精准预计航班到港时间，减少地勤人员因到岗过早而造成的成本浪费。本指标根据飞机尾流型号来评估节省的地勤人员等待花销。经计算，大连周水子机场使用 A-CDM 后，客运航班节省的地勤人员花销共 1648.50 万元，如表 7 所示。

表 7 地勤人员准时到位节省的花销

指标项	数值
平均减少的等待时长 (min)	2 ^[1]
重型机数量	958
中型机数量	58097
轻型机数量	114
平均每分钟人力消耗-重型机	¥173.68
平均每分钟人力消耗-中型机	¥119.08
平均每分钟人力消耗-轻型机	¥68.15
地勤人员节省的占比	80% ^[1]
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
节省的地勤人员花销 $b_{7,客运}$ (万元)	1648.50

八、地勤资源设备花销

航班过站期间，需要地勤资源设备准时到位对航班进行保障。A-CDM 的使用可以精准预计航班到港时间，减少因地勤资源设备到位过早而造成的成本浪费。本指标根据飞机尾流型号来评估节省的地勤资源设备等待花销。经计算，大连周水子机场使用 A-CDM 后，客运航班节省的地勤资源设备花销共 412.12 万元，如表 8 所示。

表 8 地勤资源设备利用节省的花销

指标项	数值
平均减少的等待时长 (min)	2 ^[1]
重型机数量	958
中型机数量	58097
轻型机数量	114

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
平均每分钟人力消耗-重型机	¥173.68
平均每分钟人力消耗-中型机	¥119.08
平均每分钟人力消耗-轻型机	¥68.15
地勤资源节省的占比	20% ^[1]
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
节省的地勤资源花销 $b_{8,客运}$ (万元)	412.12

九、临界航班节省费用

为追求航班正常目标，A-CDM 系统会重点协调临界航班。本指标评估协调成功的临界航班所节省的费用。经计算，大连周水子机场使用 A-CDM 后，协调成功的临界航班所节省的费用为 364.87 万元，如表 9 所示。

表 9 临界航班节省的花销

指标项	数值
临界航班数量	2257
临界航班挽救总时长 (min)	26914
航班延误每分钟花销	¥271.14
A-CDM 贡献率	50%
临界航班节省的费用 $b_{9,客运}$ (万元)	364.87

十、调时航班节省费用

A-CDM 系统支持航班计划动态调整工作的实施，若调时航班起飞时间提前告知旅客，则减少了旅客的时间花销损失。本指标评估调时航班节省的旅客时间花销。旅客时间花销按照旅客的时间成本进行计算，大连周水子机场使用 A-CDM 后，调时航班节省的费用为 39.98 万元，如表 10 所示。

表 10 调时航班节省的花销

指标项	数值
调时航班数量	81
调时航班旅客数量	8838
调时航班节省的旅客赔付总时长 (min)	1822375
旅客每分钟时间价值	¥0.44
A-CDM 贡献率	50%
调时航班节省的费用 $b_{10,客运}$ (万元)	39.98

第三节 整体收益评估

由第一节可知，大连周水子机场对 A-CDM 的直接投入用 C 表示， $C = 800$ 万元。

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

根据第二节的内容计算大连周水子机场使用 A-CDM 后的间接效益， B 计算公式为：

$$B = \sum_{i=1}^{10} b_i \quad (1)$$

利用式 (1) 计算得到机场间接效益 $B = 3371.53$ 万元。

大连周水子机场整体收益为：

$$E = B - C = 2571.53 \quad (2)$$

大连周水子机场整体收益为 2571.53 万元。

第三章 成本收回分析

大连周水子机场对 A-CDM 的直接投入 $C = 800$ 万元，使用 A-CDM 后经济效益 $B = 3371.53$ 万元。

2019 年 4 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日大连周水子机场起降客运航班和货运航班用 F 表示， $F = 120365$ 架次。期间每月航班起降架次如图 5 所示。

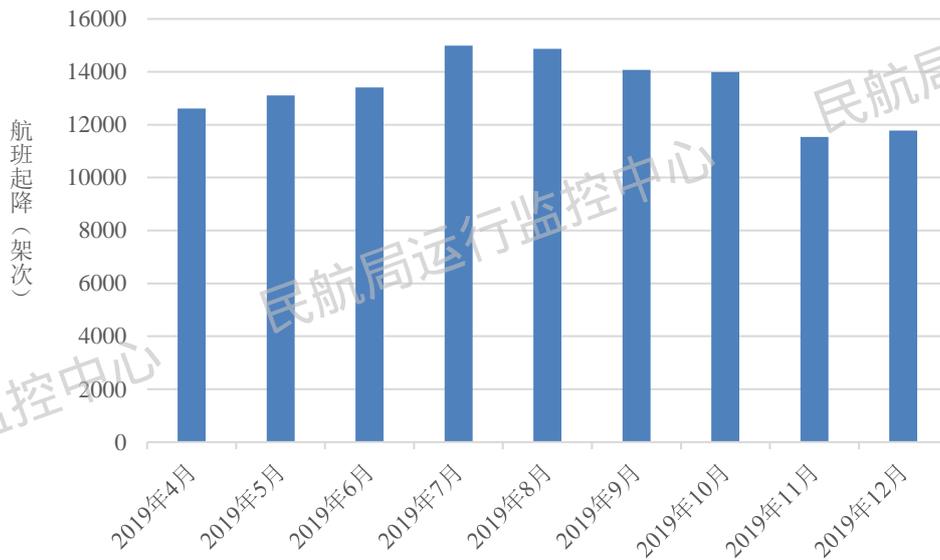


图 5 A-CDM 建后每月航班起降架次

每个航班的收益为：

$$V = \frac{B}{F} \quad (3)$$

利用 (3) 求得每个航班的收益为 280.11 元。

结合大连周水子机场 A-CDM 建成后每个月的航班量，以及每个航班的单价收益计算机场收益回本时间，如图 6 所示。

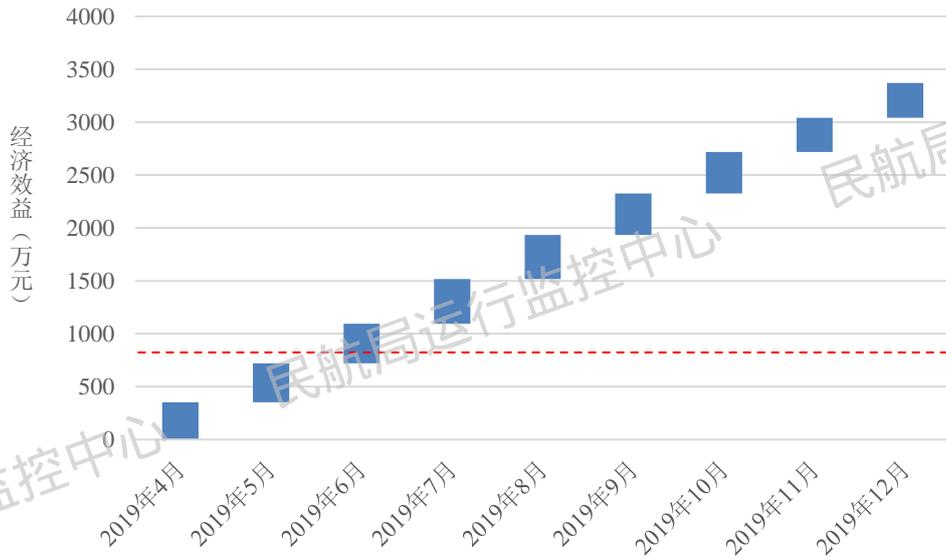


图6 收益回本时间

根据图6可知，大连周水子机场于2019年6月收回投入成本。

附录五 基于机场运行效率分析的郑州新郑机场 A-CDM 经济效益评估

第一章 总体概述

第一节 整体评估

本报告评估机场建设和使用 A-CDM 后获得经济效益的情况。A-CDM 的经济情况包括两个部分：建设 A-CDM 的直接投入和 A-CDM 使用后带来的间接效益。报告对机场使用 A-CDM 后的经济效益进行评估，并分析机场收回成本和开始盈利的时间。

本报告第二章第一节介绍了机场的直接投入，第二节通过 11 项指标详细介绍了机场的间接效益，第三节对机场整体收益进行了评估。第三章介绍了成本收回的方法，并评估机场收回成本的时间。

第二节 数据说明

郑州新郑机场 A-CDM 系统于 2019 年 6 月 1 日投入使用。本报告选取 2019 年 6 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日共计 7 个月的运行数据，作为 A-CDM 使用后效益分析的样本数据，为保证 A-CDM 建设前与使用后对比的样本数据时间长度的一致性，本报告选取 2018 年 11 月 1 日到 2019 年 5 月 31 日共计 7 个月的运行数据，作为 A-CDM 建设前的样本数据。

第二章 效益评估

第一节 机场直接投入

经计算评估，郑州新郑机场建设 A-CDM 系统的总金额为 670 万元，其中系统建设投入预估费用为 620 万元，2019 年服务费用为 50 万元。

第二节 机场间接效益

本节详细分析了 A-CDM 给机场带来的间接效益，列出了 CTOT 符合度、离港旅客损失花销、到港旅客晚下机损失花销等 11 项指标，并逐一进行详细分析和说明，有关内容如下：

一、CTOT 符合度

在实际运行中，遇到流量控制时，航班的起飞时间会被调整，若调整后的航班目标起飞时间不在 CTOT 有效范围内，则认为会造成放行时隙的损失。经计算，郑州新郑机场使用 A-CDM 后，在时隙损失减少的情况下，带来了 651.58 万元的经济效益，如表 1 所示。

表 1 CTOT 符合度节省的经济费用

指标项	数值
错失 CTOT 的航班时隙损失时长-建前 (min)	1406555.86
错失 CTOT 的航班时隙损失时长-建前 (min)	875893.44
航班减少时隙损失时长总和 (min)	53066.42
航班延误每分钟花销	¥245.57
A-CDM 时隙节省贡献率	50% ^[1]
节省的时隙损失花销 b_1 (万元)	651.58

A-CDM 的使用对时隙损失时长情况的改善，在图 1 中进行了分析。删除异常数据，计算每一天的放行时隙损失平均时长，经分析发现，从总体上看，A-CDM 使用后放行时隙损失平均时长呈下降趋势，说明 A-CDM 在一定程度上减少了时隙损失时长，从而减少经济损失。A-CDM 建设前后放行时隙损失平均时长如图 1 所示。

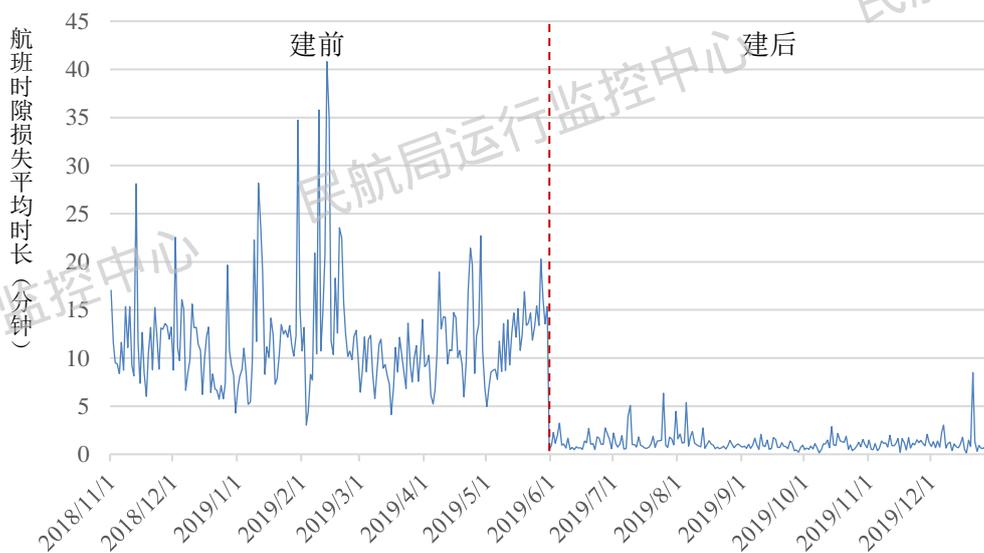


图 1 A-CDM 建设前后航班时隙损失平均时长

二、离港旅客损失花销

在实际运行中，对于离港延误的航班，部分航班会在空中进行调整以避免到港延误，乘坐这部分航班的旅客没有受到经济损失；而其他到港延误的航班，对于其旅客来说则受到了经济损失，旅客的赔付与旅客每分钟的时间价值相关。经计算，郑州新郑机场使用 A-CDM 后，客运航班共节省 777.90

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

万元，如表 2 所示。

表 2 离港旅客延误节省的花销

指标项	数值
旅客延误总时长-建前 (min)	154104888
旅客延误总时长-建后 (min)	115209670
节省总时长 (min)	38895218
旅客每分钟时间价值	¥0.4
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
离港旅客节省的损失花销 $b_{2,客运}$ (万元)	777.90

A-CDM 的使用对减少旅客延误时长的情况，在图 2 中进行了分析。删除异常数据值，计算每一天的离港旅客延误平均时长，经过分析发现，从总体上看，A-CDM 使用后旅客延误平均时长呈下降趋势，说明 A-CDM 在一定程度上减少了离港旅客延误时长，进而减少旅客的经济损失。A-CDM 建设前后离港旅客延误平均时长如图 2 所示。

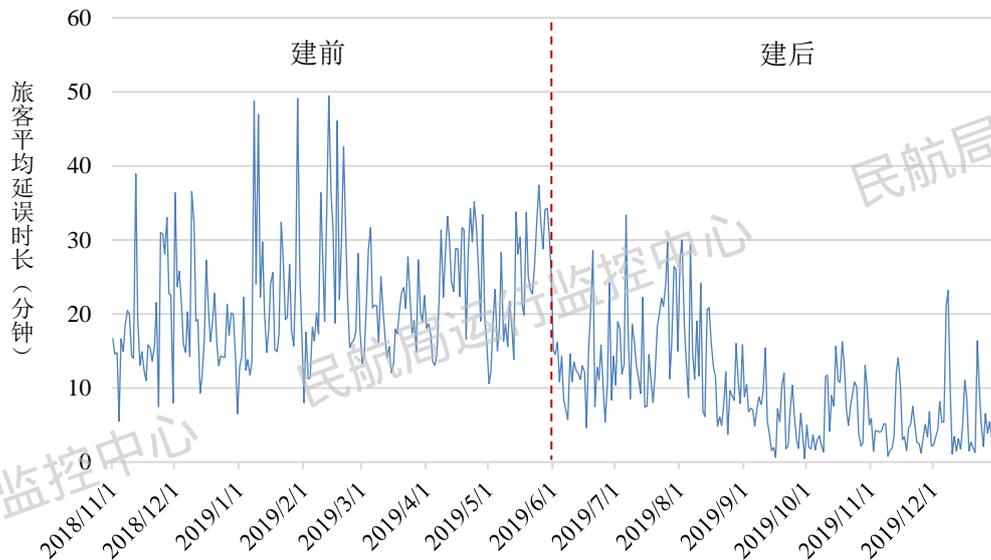


图 2 A-CDM 建设前后离港旅客延误平均时长

三、到港旅客晚下机损失花销

在机场运行中会出现航班到港正常，但开舱门时间过晚导致旅客晚下机，对于乘坐这部分航班的旅客来说会造成经济损失，旅客的赔付与旅客每分钟的时间价值相关。通过数据分析发现 A-CDM 的使用没有减少到港旅客晚下机的情况，反而给旅客带来了经济损失。经计算，郑州新郑机场使用 A-CDM 后，到港旅客晚下机没有得到改善，给旅客带来的损失花销达 482.54 万元，如表 3 所示。

表 3 到港旅客延误节省的花销

指标项	数值
旅客晚下机总时长-建前 (min)	80249225

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
旅客晚下机总时长-建后 (min)	104376144.5
节省总时长 (min)	-24126919.5
旅客每分钟时间价值	¥0.4
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
到港旅客晚下机节省的损失花销 $b_{3,客运}$ (万元)	-482.54

A-CDM 的使用对到港旅客晚下机的影响，在图 3 中进行了分析。删除异常数据值，计算每一天的到港旅客晚下机平均时长，经过分析发现，从总体上看，A-CDM 使用后旅客晚下机平均时长呈上升趋势，说明 A-CDM 的使用增加了旅客晚下机的平均时长，造成了相应的损失花销。A-CDM 建设前后到港旅客晚下机时长如图 3 所示。

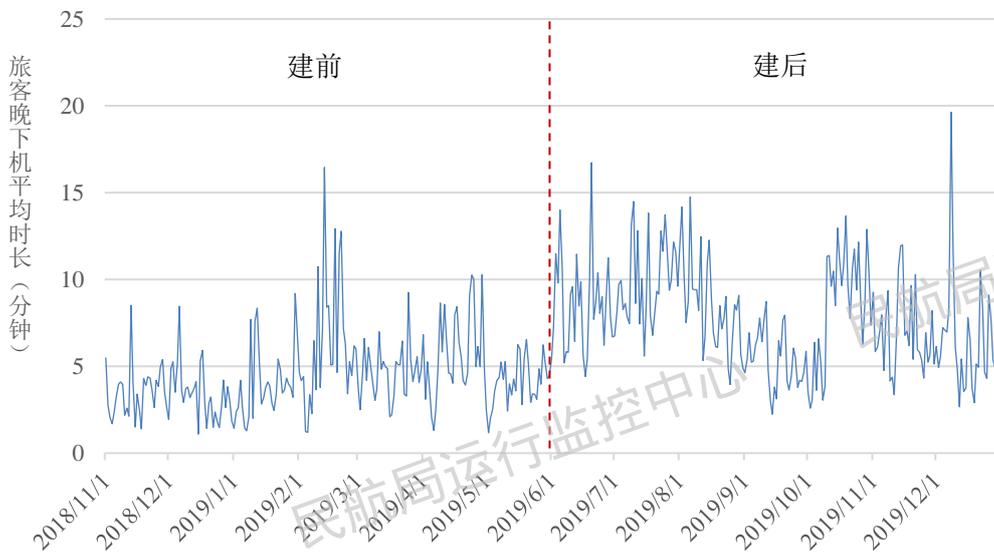


图 3 A-CDM 建设前后到港旅客晚下机平均时长

四、繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销

据统计，A-CDM 使用后可以优化离港航班的滑出路径，进而减少航班的滑行时间，节省相应的地面服务花销。该指标计算繁忙时段离港航班滑出节省的时长，并根据地面服务每分钟的花费计算繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销。经计算，郑州新郑机场使用 A-CDM 后，繁忙时段离港航班滑出共节省 416.13 万元，如表 4 所示。

表 4 离港航班滑出节省的地面服务花销

指标项	数值
繁忙时段离港航班滑出总时长 (min) -建前	496423.4
繁忙时段离港航班滑出总时长 (min) -建后	440691.4
繁忙时段减少的离港航班滑出时长 (min)	55732
地面服务每分钟花费	¥149.33

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
离港航班滑出节省的地面服务花销 b_4 (万元)	416.13

A-CDM 的使用对繁忙时段离港航班滑出时长的改善，在图 4 中进行了分析。删除异常数据值，计算每一天的繁忙时段离港航班平均滑出时长，经过分析发现，从总体上看，A-CDM 使用后繁忙时段离港航班平均滑出时长呈下降趋势，说明 A-CDM 的使用在一定程度上减少了繁忙时段离港航班滑出时长，从而减少经济损失。A-CDM 建设前后繁忙时段离港航班平均滑出时长如图 4 所示。

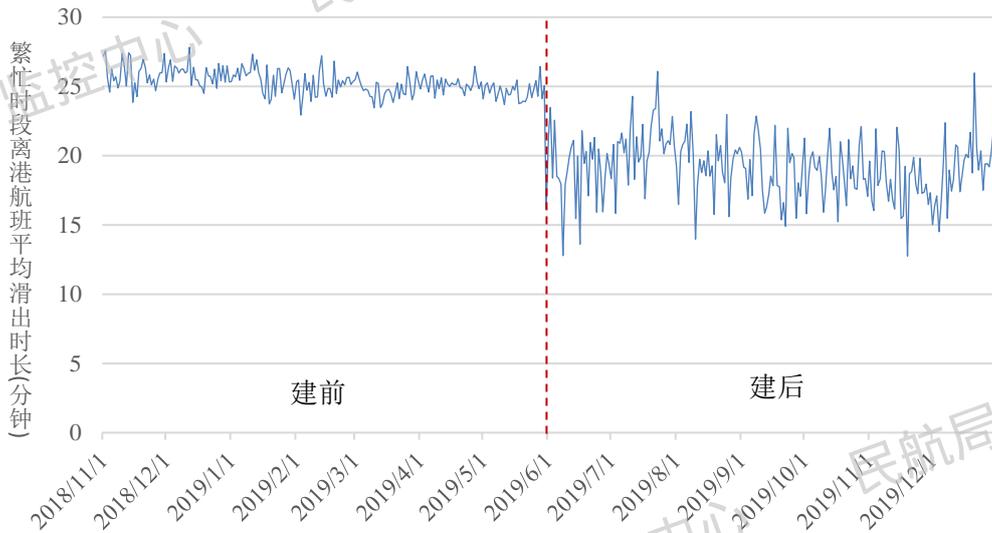


图 4 A-CDM 建设前后繁忙时段离港航班平均滑出时长

五、繁忙时段到港航班滑入节省的地面服务花销

据统计，A-CDM 使用后可以优化到港航班的滑入路径，进而减少航班的滑行时间，节省相应的地面服务花销。该指标计算繁忙时段到港航班节省的滑入总时长，并根据地面服务每分钟的花费计算机场到港航班滑入节省的地面服务花销。经计算，郑州新郑机场使用 A-CDM 后，繁忙时段到港航班滑入共节省 243.53 万元，如表 5 所示。

表 5 到港航班滑入节省的地面服务花销

指标项	数值
繁忙时段到港航班滑入总时长 (min) -建前	187533
繁忙时段到港航班滑入总时长 (min) -建后	154917
减少的到港航班滑入总时长 (min)	32616
地面服务每分钟花费	¥149.33
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
到港航班滑入节省的地面服务花销 b_5 (万元)	243.53

A-CDM 的使用对到港航班滑入时长的改善，在图 5 中进行了分析。删除异常数据值，计算每一

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

天的到港航班平均滑入时长，经过分析发现，从总体上看，A-CDM 使用后到港航班平均滑入时长呈下降趋势，说明 A-CDM 的使用在一定程度上减少了到港航班平均滑入时长，从而减少经济损失。A-CDM 建设前后到港航班平均滑入时长如图 5 所示。

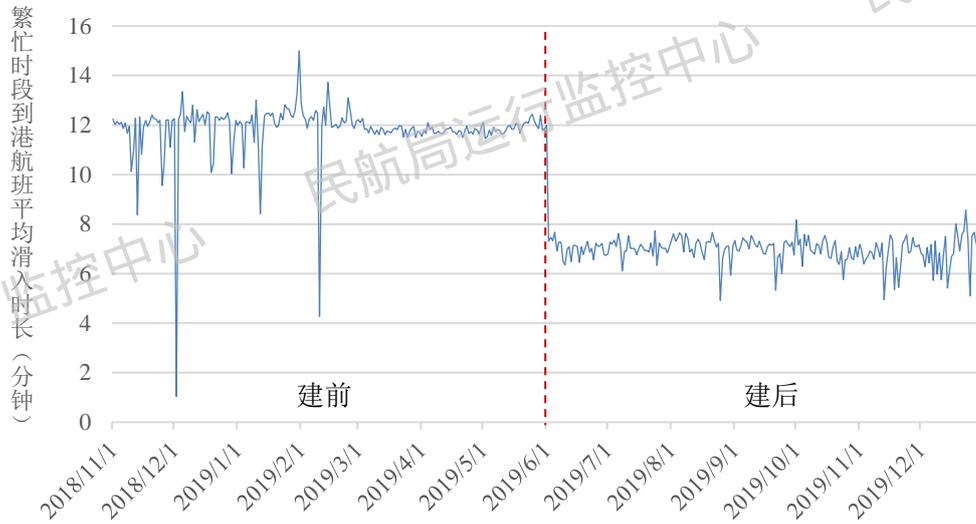


图 5 A-CDM 建设前后到港航班平均滑入时长

六、离港航班滑出燃油排放

根据指标四的分析，A-CDM 使用后会减少离港航班的滑出时长，进而节省了航班滑出时的燃油排放花销。本指标根据飞机尾流型号计算节省的燃油消耗重量，然后根据排放单位燃料不同物质的价格评估离港航班滑出节省的燃油排放花销。经计算，郑州新郑机场使用 A-CDM 后，离港航班滑出燃油排放共节省 65.99 万元，如表 6 所示。

表 6 离港航班滑出燃油排放节省的花销

指标项	数值
建前离港航班滑出总时长-重型机 (min)	11764.6
建后离港航班滑出总时长-重型机 (min)	38028.75
离港航班滑出节省时长-重型机 (min)	-26264.15
离港航班滑出节省的燃油消耗-重型机 (kg)	-446490.55
建前离港航班滑出总时长-中型机 (min)	1377163
建后离港航班滑出总时长-中型机 (min)	1116460
离港航班滑出节省时长-中型机 (min)	260703
离港航班滑出节省的燃油消耗-中型机 (kg)	2945943.9
滑行平均燃油消耗-重型机 (kg/min)	17 ^[1]
滑行平均燃油消耗-中型机 (kg/min)	11.3 ^[1]
排放每公斤燃料中 CO ₂ 的费用	¥0.36
排放每公斤燃料中 H ₂ O 的费用	¥0.04
排放每公斤燃料中 SO ₂ 的费用	¥0.008

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
排放每公斤燃料中 HC 的费用	¥0.07
排放每公斤燃料中 NO _x 的费用	¥0.03
排放每公斤燃料中 CO 的费用	¥0.02
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
离港航班滑出节省的燃油排放花销-重型机 (万元)	-11.78
离港航班滑出节省的燃油排放花销-中型机 (万元)	77.77
离港航班滑出节省的燃油排放花销 b_6 (万元)	65.99

七、到港航班滑入燃油排放

根据指标五的分析，A-CDM 使用后会减少到港航班的滑入时长，进而节省了航班滑入时的燃油排放花销。本指标根据飞机尾流型号计算节省的燃油消耗重量，然后根据排放单位燃料不同物质的价格评估到港航班滑入节省的燃油排放花销。经计算，郑州新郑机场使用 A-CDM 后，到港航班滑入燃油排放共节省 10.46 万元，如表 7 所示。

表 7 到港航班滑入燃油排放节省的花销

指标项	数值
建前到港航班滑入总时长-重型机 (min)	4360
建后到港航班滑入总时长-重型机 (min)	18818.63
到港航班滑入节省时长-重型机 (min)	-14458.63
到港航班滑入节省的燃油消耗-重型机 (kg)	-245796.71
建前到港航班滑入总时长-中型机 (min)	526123
建后到港航班滑入总时长-中型机 (min)	469314.1
到港航班滑入节省时长-中型机 (min)	56808.9
到港航班滑入节省的燃油消耗-中型机 (kg)	641940.57
滑行平均燃油消耗-重型机 (kg/min)	17 ^[1]
滑行平均燃油消耗-中型机 (kg/min)	11.3 ^[1]
排放每公斤燃料中 CO ₂ 的费用	¥0.36
排放每公斤燃料中 H ₂ O 的费用	¥0.04
排放每公斤燃料中 SO ₂ 的费用	¥0.008
排放每公斤燃料中 HC 的费用	¥0.07
排放每公斤燃料中 NO _x 的费用	¥0.03
排放每公斤燃料中 CO 的费用	¥0.02
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
到港航班滑入节省的燃油排放花销-重型机 (万元)	-6.49
到港航班滑入节省的燃油排放花销-中型机 (万元)	16.95
到港航班滑入节省的燃油排放花销 b_7 (万元)	10.46

八、地勤人员准时到位

航班过站期间，需要地勤人员准时到位对航班进行保障。A-CDM 的使用可以精准预计航班到港

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

时间，减少地勤人员因到岗过早而造成的成本浪费。本指标根据飞机尾流型号来评估节省的地勤人员等待花销。经计算，郑州新郑机场使用 A-CDM 后，客运航班节省的地勤人员花销共 514.43 万元，如表 8 所示。

表 8 地勤人员准时到位节省的花销

指标项	数值
平均减少的等待时长 (min)	2 ^[1]
重型机数量	1417
中型机数量	57556
平均每分钟人力消耗-重型机	¥157.30
平均每分钟人力消耗-中型机	¥107.85
地勤人员节省的占比	80% ^[1]
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
节省的地勤人员花销 $b_{8, \text{客运}}$ (万元)	514.43

九、地勤资源设备花销

航班过站期间，需要地勤资源设备准时到位对航班进行保障。A-CDM 的使用可以精准预计航班到港时间，减少因地勤资源设备到位过早而造成的成本浪费。本指标根据飞机尾流型号来评估节省的地勤资源设备等待花销。经计算，郑州新郑机场使用 A-CDM 后，客运航班节省的地勤资源设备花销共 128.61 万元，如表 9 所示。

表 9 地勤资源设备利用节省的花销

指标项	数值
平均减少的等待时长 (min)	2 ^[1]
重型机数量	1417
中型机数量	57556
平均每分钟人力消耗-重型机	¥157.30
平均每分钟人力消耗-中型机	¥107.85
地勤资源设备节省的占比	20% ^[1]
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
节省的地勤资源花销 $b_{9, \text{客运}}$ (万元)	128.61

十、临界航班节省费用

为追求航班正常目标，A-CDM 系统会重点协调临界航班。本指标评估协调成功的临界航班所节省的费用。经计算，郑州新郑机场使用 A-CDM 后，协调成功的临界航班所节省的费用为 137.61 万元，如表 10 所示。

表 10 临界航班节省的花销

指标项	数值
临界航班数量	1981

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
临界航班挽救总时长 (min)	11207
航班延误每分钟花销	¥245.57
A-CDM 贡献率	50%
临界航班节省的费用 $b_{10,客运}$ (万元)	137.61

十一、调时航班节省费用

A-CDM 系统支持航班计划动态调整工作的实施，若调时航班起飞时间提前告知旅客，则减少了旅客的时间花销损失。本指标评估调时航班节省的旅客时间花销。旅客时间花销按照旅客的时间成本进行计算，郑州新郑机场使用 A-CDM 后，调时航班节省的费用为 6.93 万元，如表 11 所示。

表 11 调时航班节省的花销

指标项	数值
调时航班数量	18
调时航班旅客数量	2867
调时航班节省的旅客赔付总时长 (min)	346505
旅客每分钟时间价值	¥0.4
A-CDM 贡献率	50%
调时航班节省的费用 $b_{11,客运}$ (万元)	6.93

第三节 整体收益评估

由第一节可知，郑州新郑机场对 A-CDM 的直接投入用 C 表示， $C = 670$ 万元。

根据第二节的内容计算郑州新郑机场使用 A-CDM 后的间接效益， B 计算公式为：

$$B = \sum_{i=1}^{11} b_i \quad (1)$$

利用式 (1) 计算得到机场间接效益 $B = 2470.63$ 万元。

郑州新郑机场整体收益为：

$$E = B - C = 1800.63 \quad (2)$$

郑州新郑机场整体收益为 1800.63 万元。

第三章 成本收回分析

郑州新郑机场对 A-CDM 的直接投入 $C = 670$ 万元，使用 A-CDM 后经济效益 $B = 2470.63$ 万元。

2019 年 6 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日郑州新郑机场起降客运航班用 $F_{客运}$ 表示， $F_{客运} = 122635$ 架次。期间每月客运航班起降架次如图 6 所示。

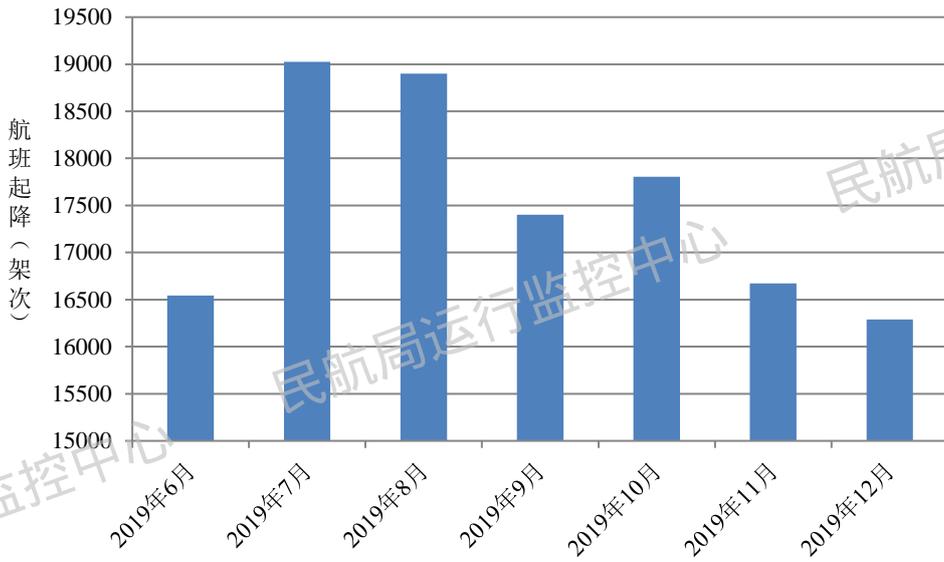


图 6 A-CDM 建设后每月客运航班起降架次

2019年6月1日至2019年12月31日郑州新郑机场起降货运航班用 $F_{\text{货运}}$ 表示, $F_{\text{货运}} = 4458$ 架次。期间每月货运航班起降架次如图 7 所示。

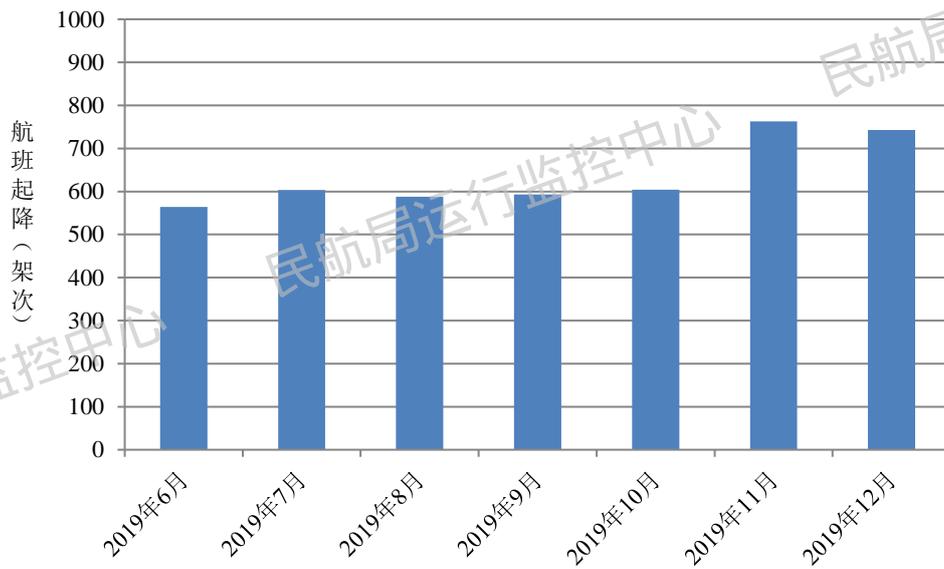


图 7 A-CDM 建设后每月货运航班起降架次

客运航班收益用 $B_{\text{客运}}$ 表示, 其计算公式为:

$$B_{\text{客运}} = \sum_{i=1}^{12} b_{i, \text{客运}} \quad (3)$$

利用式 (3) 求得客运航班经济效益 $B_{\text{客运}} = 2421.91$ 万元。已知 $F_{\text{客运}} = 122635$ 架次, 则每个客运航班的收益为:

$$V_{\text{客运}} = \frac{B_{\text{客运}}}{F_{\text{客运}}} \quad (4)$$

利用式(4)求得每个客运航班的收益为197.49元。

货运航班收益用 $B_{\text{货运}}$ 表示,其计算公式为:

$$B_{\text{货运}} = \sum_{i=1,4,5,6,7} b_{i,\text{货运}} \quad (5)$$

利用式(5)求得货运航班经济效益 $B_{\text{货运}}=48.72$ 万元。已知 $F_{\text{货运}}=4458$ 架次,则每个货运航班的收益为:

$$V_{\text{货运}} = \frac{B_{\text{货运}}}{F_{\text{货运}}} \quad (6)$$

利用式(6)求得每个货运航班的收益为109.29元。

结合郑州新郑机场A-CDM建成后7个月内,每个月的客运、货运航班量,以及每个客运、货运航班的单价收益计算机场收益回本时间,如图8所示。

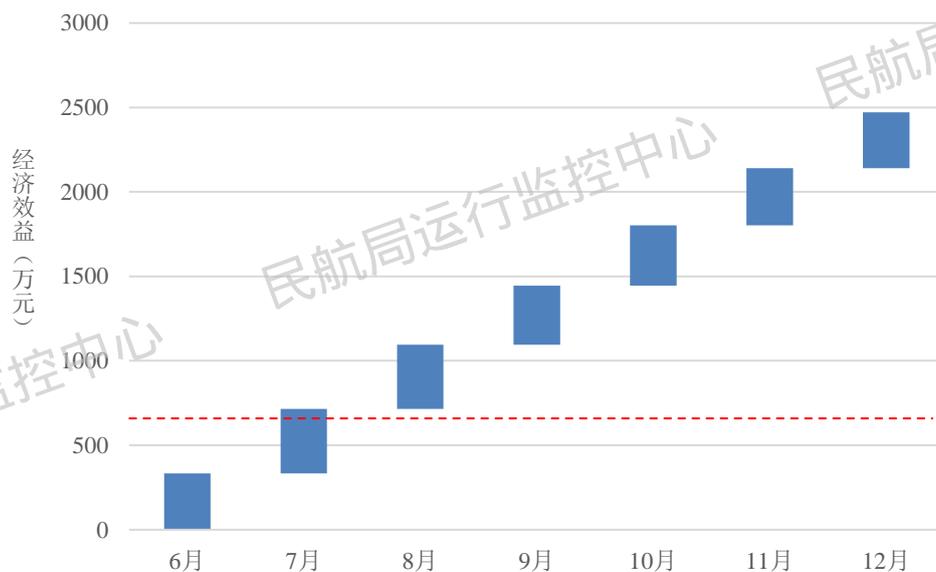


图8 收益回本时间

根据图8可知,郑州新郑机场于2019年7月收回投入成本。

附录六 基于机场运行效率分析的杭州萧山机场 A-CDM 经济效益评估

第一章 总体概述

第一节 整体评估

本报告评估机场建设和使用 A-CDM 后获得经济效益的情况。A-CDM 的经济情况包括两个部分：建设 A-CDM 的直接投入和 A-CDM 使用后带来的间接效益。报告对机场使用 A-CDM 后的经济效益进行评估，并分析机场收回成本和开始盈利的时间。

本报告第二章第一节介绍了机场的直接投入，第二节通过 11 项指标详细介绍了机场的间接效益，第三节对机场整体收益进行了评估。第三章介绍了成本收回的方法，并评估机场收回成本的时间。

第二节 数据说明

杭州萧山机场于 2018 年 12 月投入使用 A-CDM 系统，因此本报告选取 2019 年全年运行数据作为 A-CDM 使用后效益分析的样本数据，为保证 A-CDM 建设前与使用后对比的样本数据时间长度的一致性，选取 2018 年数据作为 A-CDM 系统建设前的样本数据。

第二章 效益评估

第一节 机场直接投入

经计算评估，杭州萧山机场建设 A-CDM 系统的总金额为 960 万元，其中系统建设投入预估费用为 800 万元，该机场在 2018 年通过民航局评估，因此服务费用为 2 年，2018 年、2019 年服务费用为每年各 80 万元。

第二节 机场间接效益

本节详细分析了 A-CDM 给机场带来的间接效益，列出了 CTOT 符合度、离港旅客损失花销、到港旅客晚下机损失花销等 11 项指标，并逐一进行详细分析和说明，有关内容如下：

一、CTOT 符合度

在实际运行中，遇到流量控制时，航班的起飞时间会被调整，若调整后的航班目标起飞时间不在 CTOT 有效范围内，则认为会造成放行时隙的损失。经计算，杭州萧山机场使用 A-CDM 后，在时隙损失减少的情况下，客运航班和货运航班共带来了 1848.66 万元的经济效益，如表 1 所示。

表 1 CTOT 符合度节省的经济费用

指标项	数值
错失 CTOT 的航班平均时隙损失时长-建前 (min)	36.35
错失 CTOT 的航班平均时隙损失时长-建后 (min)	21.60
航班减少时隙损失时长总和 (min)	95909.87
航班延误每分钟花销	¥385.50
A-CDM 时隙节省贡献率	50% ^[1]
节省的时隙损失花销 b_1 (万元)	1848.66

A-CDM 的使用对时隙损失时长情况的影响，在图 1 中进行了分析。图 1 计算出每一天的放行时隙损失平均时长，从总体来看，A-CDM 建设后数据的波动较小，说明 A-CDM 的使用减少了时隙损失时长，进而减少了相应的经济损失。

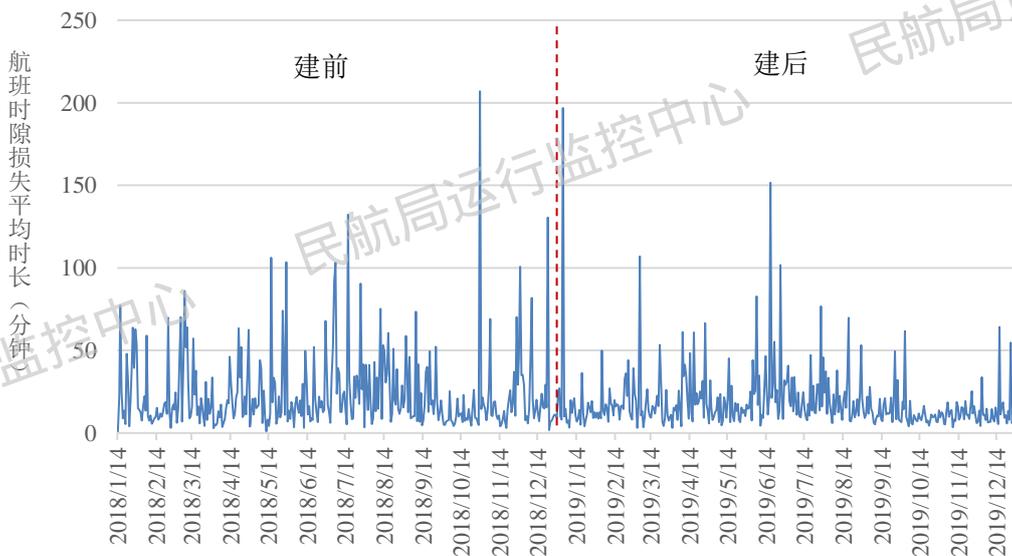


图 1 A-CDM 建设前后航班时隙损失平均时长

二、离港旅客损失花销

在实际运行中，对于离港延误的航班，部分航班会在空中进行调整以避免到港延误，乘坐这部分航班的旅客没有受到经济损失；而其他到港延误的航班，对于其旅客来说则受到了经济损失，旅客的赔付与旅客每分钟的时间价值相关。经计算，杭州萧山机场使用 A-CDM 后，客运航班共节省 474.81 万元，如表 2 所示。

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

表 2 离港旅客延误节省的花销

指标项	数值
单名旅客延误时长-建前 (min)	71.59
单名旅客延误时长-建后 (min)	68.46
节省总时长 (min)	15221025.42
旅客每分钟时间价值	¥0.62
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
离港旅客节省的损失花销 $b_{2, 客运}$ (万元)	474.81

A-CDM 建设前后离港旅客延误平均时长如图 2 所示。

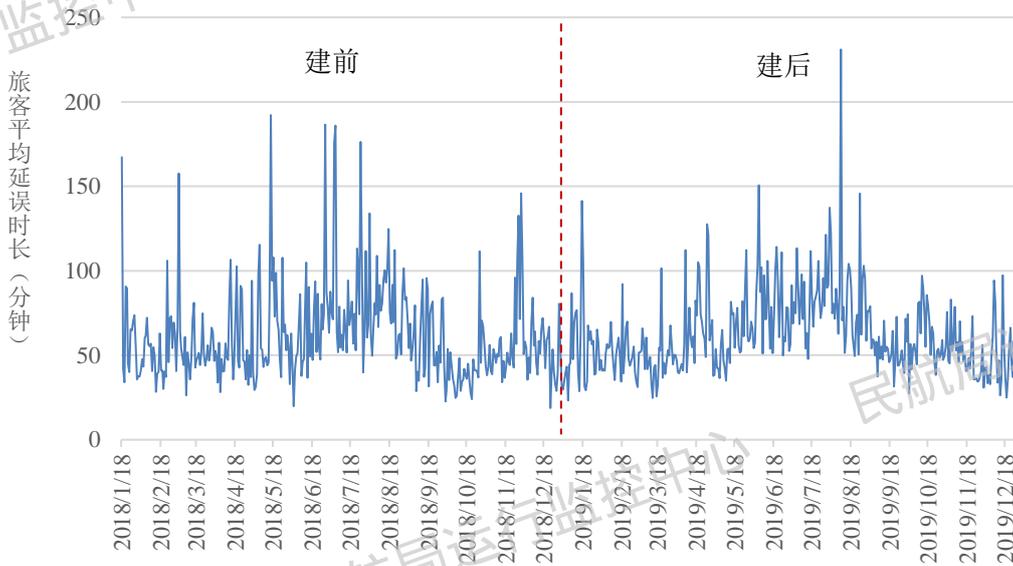


图 2 A-CDM 建设前后离港旅客延误平均时长

三、到港旅客晚下机损失花销

在机场运行中会出现航班到港正常，但开舱门时间过晚导致旅客晚下机，对于乘坐这部分航班的旅客来说会造成经济损失，旅客的赔付与旅客每分钟的时间价值相关。通过数据分析发现 A-CDM 的使用没有减少到港旅客晚下机的情况，反而给旅客带来了经济损失。经计算，杭州萧山机场使用 A-CDM 后，到港旅客晚下机没有得到改善，客运航班给旅客带来的损失花销达 337.62 万元，如表 3 所示。

表 3 到港旅客延误节省的花销

指标项	数值
单名旅客晚下机时长-建前 (min)	44.93
单名旅客晚下机时长-建后 (min)	46.88
节省总时长 (min)	-10823196.55
旅客每分钟时间价值	¥0.62

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
到港旅客晚下机节省的损失花销 $b_{3,客运}$ (万元)	-337.62

A-CDM 建设前后到港旅客晚下机时长如图 3 所示。

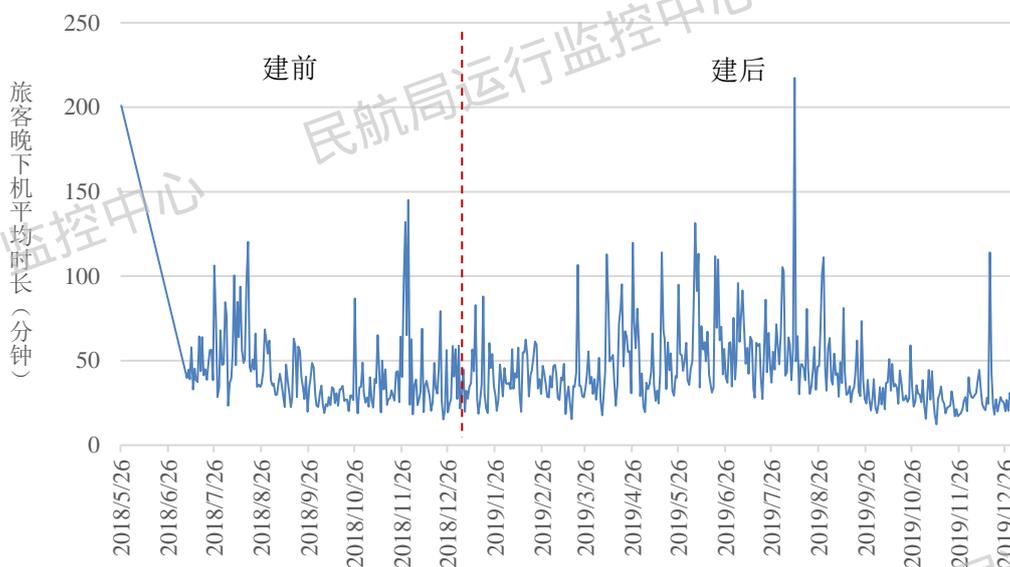


图 3 A-CDM 建设前后到港旅客晚下机平均时长

四、繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销

据统计，A-CDM 使用后可以优化离港航班的滑出路径，进而减少航班的滑行时间，节省相应的地面服务花销。该指标计算繁忙时段离港航班滑出节省的时长，并根据地面服务每分钟的花费计算繁忙时段离港航班滑出节省的地面服务花销。通过数据分析发现 A-CDM 的使用没有减少繁忙时段离港航班的滑出时长，反而带来了相应的经济损失。经计算，杭州萧山机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班的地面服务花销损失达 126.81 万元，如表 4 所示。

表 4 离港航班滑出节省的地面服务花销

指标项	数值
繁忙时段单个离港航班滑出时长 (min) -建前	15.52
繁忙时段单个离港航班滑出时长 (min) -建后	16.03
繁忙时段减少的离港航班滑出时长 (min)	-10818.37
地面服务每分钟花费	¥234.43
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
离港航班滑出节省的地面服务花销 b_4 (万元)	-126.81

A-CDM 建设前后繁忙时段离港航班平均滑出时长如图 4 所示。

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

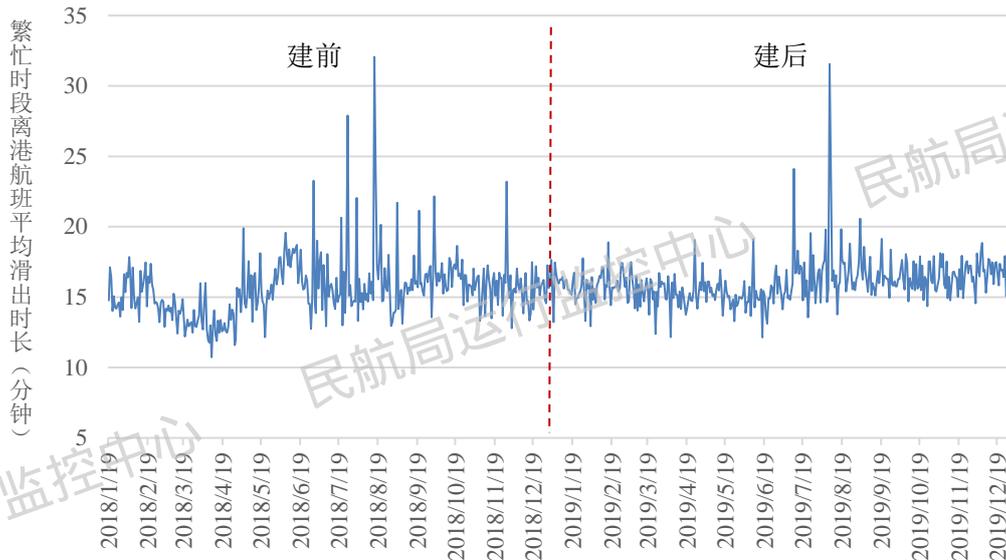


图 4 A-CDM 建设前后繁忙时段离港航班平均滑出时长

五、繁忙时段到港航班滑入节省的地面服务花销

据统计，A-CDM 使用后可以优化到港航班的滑入路径，进而减少航班的滑行时间，节省相应的地面服务花销。该指标计算繁忙时段到港航班节省的滑入总时长，并根据地面服务每分钟的花费计算机场到港航班滑入节省的地面服务花销。通过数据分析发现 A-CDM 的使用没有减少到港航班的滑入时长，反而带来了相应的经济损失。经计算，杭州萧山机场使用 A-CDM 后，客运和货运到港航班滑入损失达 491.78 万元，如表 5 所示。

表 5 到港航班滑入节省的地面服务花销

指标项	数值
繁忙时段单个到港航班滑入时长-建前 (min)	6.55
繁忙时段单个到港航班滑入时长-建后 (min)	7.54
减少的到港航班滑入时长 (min)	-41956.11
地面服务每分钟花费	¥234.43
A-CDM 挽救贡献率	50% ^[1]
到港航班滑入节省的地面服务花销 b_5 (万元)	-491.78

A-CDM 建设前后繁忙时段到港航班平均滑入时长如图 5 所示。图 5 计算出每一天的繁忙时段到港航班平均滑入时长，从总体来看 A-CDM 建设后数据的波动较大，说明 A-CDM 的使用增加了到港航班平均滑入时长，造成了相应的损失花销。

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

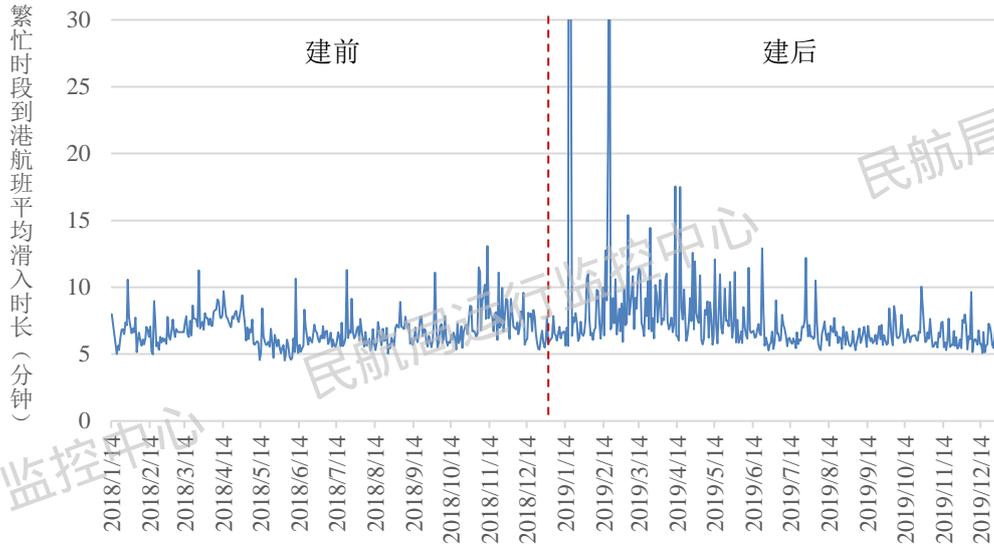


图 5 A-CDM 建设前后繁忙时段到港航班平均滑入时长

六、离港航班滑出燃油排放

根据指标四的分析，A-CDM 使用后会减少离港航班的滑出时长，进而节省了航班滑出时的燃油排放花销。本指标根据飞机尾流型号计算节省的燃油消耗重量，然后根据排放单位燃料不同物质的价格评估离港航班滑出节省的燃油排放花销。通过数据分析发现 A-CDM 的使用没有减少离港航班的滑出燃油排放，反而带来了相应的经济损失。经计算，杭州萧山机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班离港航班滑出燃油排放损失达 42.97 万元，如表 6 所示。

表 6 离港航班滑出燃油排放节省的花销

指标项	数值
建前单个离港航班滑出时长-重型机 (min)	15.15
建后单个离港航班滑出时长-重型机 (min)	15.49
离港航班滑出节省时长 (min) -重型机	-3297.67
离港航班滑出节省的燃油消耗-重型机 (kg)	-56060.32
建前单个离港航班滑出时长-中型机 (min)	15.40
建后单个离港航班滑出时长-中型机 (min)	16.08
离港航班滑出节省时长 (min) -中型机	-87388.20
离港航班滑出节省的燃油消耗-中型机 (kg)	-987486.62
滑行平均燃油消耗-重型机 (kg/min)	17 ^[1]
滑行平均燃油消耗-中型机 (kg/min)	11.3 ^[1]
排放每公斤燃料中 CO ₂ 的费用	¥0.56
排放每公斤燃料中 H ₂ O 的费用	¥0.06
排放每公斤燃料中 SO ₂ 的费用	¥0.012
排放每公斤燃料中 HC 的费用	¥0.11
排放每公斤燃料中 NO _x 的费用	¥0.05
排放每公斤燃料中 CO 的费用	¥0.03

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
离港航班滑出节省的燃油排放花销-重型机 (万元)	-2.31
离港航班滑出节省的燃油排放花销-中型机 (万元)	-40.66
离港航班滑出节省的燃油排放花销 b_6 (万元)	-42.97

七、到港航班滑入燃油排放

根据指标五的分析，A-CDM 使用后会减少到港航班的滑入时长，进而节省了航班滑入时的燃油排放花销。本指标根据飞机尾流型号计算节省的燃油消耗重量，然后根据排放单位燃料不同物质的价格评估到港航班滑入节省的燃油排放花销。通过数据分析发现 A-CDM 的使用没有减少到港航班的滑入燃油排放，反而带来了相应的经济损失。经计算，杭州萧山机场使用 A-CDM 后，客运航班和货运航班到港航班滑入燃油排放损失达 44.12 万元，如表 7 所示。

表 7 到港航班滑入燃油排放节省的花销

指标项	数值
建前单个到港航班滑入时长-重型机 (min)	7.04
建后单个到港航班滑入时长-重型机 (min)	7.58
到港航班滑入节省时长-重型机 (min)	-4589.07
到港航班滑入节省的燃油消耗-重型机 (kg)	-78014.11
建前单个到港航班滑入时长-中型机 (min)	6.79
建后单个到港航班滑入时长-中型机 (min)	7.56
到港航班滑入节省时长-中型机 (min)	-87910.20
到港航班滑入节省的燃油消耗-中型机 (kg)	-993385.28
滑行平均燃油消耗-重型机 (kg/min)	17 ^[1]
滑行平均燃油消耗-中型机 (kg/min)	11.3 ^[1]
排放每公斤燃料中 CO ₂ 的费用	¥0.56
排放每公斤燃料中 H ₂ O 的费用	¥0.06
排放每公斤燃料中 SO ₂ 的费用	¥0.012
排放每公斤燃料中 HC 的费用	¥0.11
排放每公斤燃料中 NO _x 的费用	¥0.05
排放每公斤燃料中 CO 的费用	¥0.03
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
到港航班滑入节省的燃油排放花销-重型机 (万元)	-3.21
到港航班滑入节省的燃油排放花销-中型机 (万元)	-40.91
到港航班滑入节省的燃油排放花销 b_7 (万元)	-44.12

八、地勤人员准时到位

航班过站期间，需要地勤人员准时到位对航班进行保障。A-CDM 的使用可以精准预计航班到港时间，减少地勤人员因到岗过早而造成的成本浪费。本指标根据飞机尾流型号来评估节省的地勤人员

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

等待花销。经计算，杭州萧山机场使用 A-CDM 后，客运航班节省的地勤人员花销共 571.58 万元，如表 8 所示。

表 8 地勤人员准时到位节省的花销

指标项	数值
平均减少的等待时长 (min)	2 ^[1]
重型机数量	5479
中型机数量	76409
平均每分钟人力消耗-重型机	¥246.93
平均每分钟人力消耗-中型机	¥169.31
地勤人员节省的占比	80% ^[1]
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
节省的地勤人员花销 $b_{8, \text{客运}}$ (万元)	571.58

九、地勤资源设备花销

航班过站期间，需要地勤资源设备准时到位对航班进行保障。A-CDM 的使用可以精准预计航班到港时间，减少因地勤资源设备到位过早而造成的成本浪费。本指标根据飞机尾流型号来评估节省的地勤资源设备等待花销。经计算，杭州萧山机场使用 A-CDM 后，客运航班节省的地勤资源设备花销共 142.90 万元，如表 9 所示。

表 9 地勤资源设备利用节省的花销

指标项	数值
平均减少的等待时长 (min)	2 ^[1]
重型机数量	5479
中型机数量	76409
平均每分钟人力消耗-重型机	¥246.93
平均每分钟人力消耗-中型机	¥169.31
地勤资源节省的占比	20% ^[1]
A-CDM 贡献率	50% ^[1]
节省的地勤资源花销 $b_{9, \text{客运}}$ (万元)	142.90

十、临界航班节省费用

为追求航班正常目标，A-CDM 系统会重点协调临界航班。本指标评估协调成功的临界航班所节省的费用。经计算，杭州萧山机场使用 A-CDM 后，协调成功的临界航班所节省的费用为 53.55 万元，如表 10 所示。

表 10 临界航班节省的花销

指标项	数值
临界航班数量	834
临界航班挽救总时长 (min)	2778

^[1] Airport CDM Cost Benefit analysis (CBA) Report 2005[R]. Eurocontrol Experimental Center, 2005.

指标项	数值
航班延误每分钟花销	¥385.50
A-CDM 贡献率	50%
临界航班节省的费用 $b_{10,客运}$ (万元)	53.55

十一、调时航班节省费用

A-CDM 系统支持航班计划动态调整工作的实施，若调时航班起飞时间提前告知旅客，则减少了旅客的时间花销损失。本指标评估调时航班节省的旅客时间花销。旅客时间花销按照旅客的时间成本进行计算，杭州萧山机场使用 A-CDM 后，调时航班节省的费用为 37.64 万元，如表 11 所示。

表 11 调时航班节省的花销

指标项	数值
调时航班数量	287
调时航班旅客数量	32310
调时航班节省的旅客赔付总时长 (min)	1206510
旅客每分钟时间价值	¥0.62
A-CDM 贡献率	50%
调时航班节省的费用 $b_{11,客运}$ (万元)	37.64

第三节 整体收益评估

由第一节可知，杭州萧山机场对 A-CDM 的直接投入用 C 表示， $C = 960$ 万元。

根据第二节的内容计算杭州萧山机场使用 A-CDM 后的间接效益， B 计算公式为：

$$B = \sum_{i=1}^{11} b_i \quad (1)$$

利用式 (1) 计算得到机场间接效益 $B = 2085.84$ 万元。

杭州萧山机场整体收益为：

$$E = B - C = 1125.84 \quad (2)$$

杭州萧山机场整体收益为 1125.84 万元。

第三章 成本收回分析

杭州萧山机场对 A-CDM 的直接投入 $C = 960$ 万元，使用 A-CDM 后经济效益 $B = 2085.84$ 万元。

2019 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日杭州萧山机场客运航班和货运航班用 F 表示， $F = 290896$ 架次。期间每月航班起降架次如图 6 所示。



图6 A-CDM 建后每月航班起降架次

每个航班的收益为：

$$V = \frac{B}{F} \quad (3)$$

利用 (3) 求得每个航班的收益为 71.70 元。

结合杭州萧山机场 A-CDM 建成后每个月的航班量，以及每个航班的单价收益计算机场收益回本时间，如图 7 所示。

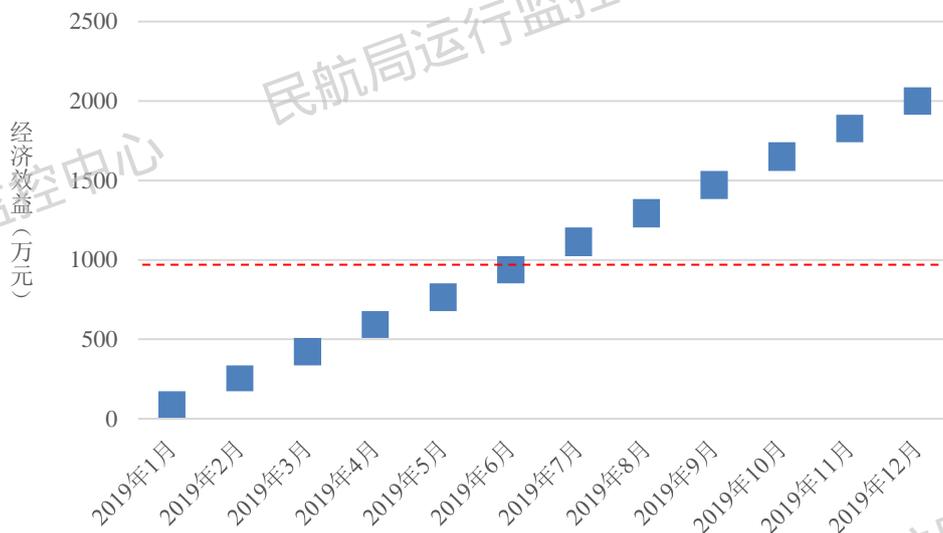


图7 收益回本时间

根据图 7 可知，杭州萧山机场于 2019 年 6 月收回投入成本。

基于机场运行效率分析的 A-CDM 经济效益评估报告

编委名单

总编审：	吕尔学	民航局
主 编：	文学正	民航局运行监控中心
副主编：	孙韶华	民航局运行监控中心
撰 稿：	王宇航	民航局运行监控中心
	刘 宏	民航局运行监控中心
	张 旭	民航局运行监控中心
	朱星磊	民航局运行监控中心
	王 旭	民航局运行监控中心
	李潇男	民航局运行监控中心
	罗 谦	民航局第二研究所
	潘 野	民航局第二研究所
	杜雨弦	民航局第二研究所
	丛 婉	民航局第二研究所



民航局运行监控中心

民航局运行监控中心



民航局运行监控中心

民航局运行监控中心

民航局运行监控中心