

基于计算机排队仿真算法的民航机场楼前安检模式效率研究

黄加翼

(同方威视技术股份有限公司, 北京 100000)

摘要: 目前, 民航机场要求在航站楼前开展“防爆检测+健康防疫”等工作时, 需要投入较大的人力、物力来保障候机楼公共区域的空防安全和防疫安全。针对这一问题, 机场在设计航站楼前安检模式时以提升查验效率为目的就显得尤其重要。但是, 在机场楼前安检模式的效率研究领域, 目前还没有相关的研究资料可供参考。基于此, 本文针对现阶段的三种类型的楼前安检模式进行了分析, 提出了基于排队模型的效率分析方法; 同时, 对其中的防爆闸机模式最优优化部署方案进行研究并得出了结论, 为未来机场楼前安检模式的设计提供理论模型和依据。

关键词: 排队论; 楼前防爆; 安检; 效率分析

中图分类号: F224

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2022.33.025

文献标识码: A

机场航站楼前爆炸物探测、健康码查验是目前民航机场在楼前需要常态化开展的一项工作, 这项工作可以有效地对进入候机楼旅客的行李及其全身进行探测和检查, 以确保候机楼公共区域的空防安全以及防疫安全。但是, 受新冠肺炎疫情影响, 机场旅客的吞吐量大幅降低, 机场营收显著减少。同时, 行业对于机场楼前常态化的防爆安检工作要求和防疫要求, 比原楼前管控措施更加严格, 人工数量也增加了至少 50%。旅客流量减少, 导致营收下降, 再加上机场楼前防疫工作量增加, 导致运营成本提高, 极大抬升了机场的经营压力。因此, 亟需技术和管理的创新来提升机场的经营效力。本文最后提到的机场楼前安全检查, 包含了防爆检测、健康码查验等工作。

目前, 在机场航站楼前安检效率研究领域, 没有查询到相关的学术研究资料或论文。学术界对于机场运营效率的研究分为宏观层面和微观层面。

从宏观层面来看, 研究的方向主要是从机场运营的全要素(包括航站楼旅客吞吐量、停机位起降架次、跑道起降架次、中转时间、财务因素等)来对机场的运营效率进行综合分析^[1]。

从微观层面看, 对于安检模式的运营效率研究, 业界主要集中在隔离区内安检通道的效率研究^[2]。但隔离区以内的安检通道模式与机场楼前安检模式有较大的差异性, 主要体现在以下三个方面。

第一, 安检查验方式不同。机场隔离区内安检模式的主要目标是能够查获民航规定的所有禁限带物品, 确保上机前旅客人身、随身行李、托运行李的绝对安全。在楼前安检模

式方面, 安检的主要目标是查获旅客可能携带的爆炸物、易燃物等违禁品, 对进入候机楼可疑人员进行处置, 并维持楼前秩序。

第二, 管理模式不同。隔离区以内的安检模式具有固定和统一的管理规定和标准, 这些标准规定了包括人员数量、资质、通道尺寸、通过效率等在内的业务要求。而对于楼前安检来说, 相比前面提到的隔离区安检模式, 因安全等级要求不一致的原因, 行业主管单位对于楼前安检主要是从技术实现方式、工作流程和方式、实施时间、管理等方面进行了明确。因此, 机场在满足工作目标、实施时间、以及监管要求的基础上, 可以结合本场的实际情况合理选择楼前安检的方式和方法, 并经民航公安机关审核通过后实施。

第三, 服务要求存在差异。隔离区内安检通道有最高的过检效率上限要求(通过率最高在 220 人/小时或 180 人/小时, 因安检人员配备差异而定), 但是楼前安检除了要满足查验的彻底性要求外, 还要考虑到楼前的过检效率, 尽量避免楼前出现旅客排长队、积压的情形, 同时该区域也没有最高过检效率的要求。基于上述楼前安检与隔离区安检模式的差异性, 隔离区安检模式效率分析和研究方法不能完全套用到楼前安检模式, 需要根据机场采用的楼前安检模式, 具体问题具体分析。

综上所述, 本文提出了一种基于排队论的楼前安检模式效率分析方法, 对三种类型安检模式进行模拟和仿真, 并对比三种安检模式的效率, 以及分析了防爆闸机安检模式的最优配置方案, 以期对未来机场楼前安检模式的设计提供可供参考的理

论模型以及依据。

1 机场楼前安检模式分析

目前，机场楼前安检正在使用的安检模式分为三种类型：楼前防爆检测模式；“X光机+人身”检查模式；防爆闸机探测模式。

1.1 防爆检测模式

防爆检测模式需要一至两名安检员位于航站楼入口通道一侧，对所有进入航站楼入口的旅客采用炸药探测器进行100%的无差别防爆安全检测。该模式的现场布局图如图1所示。

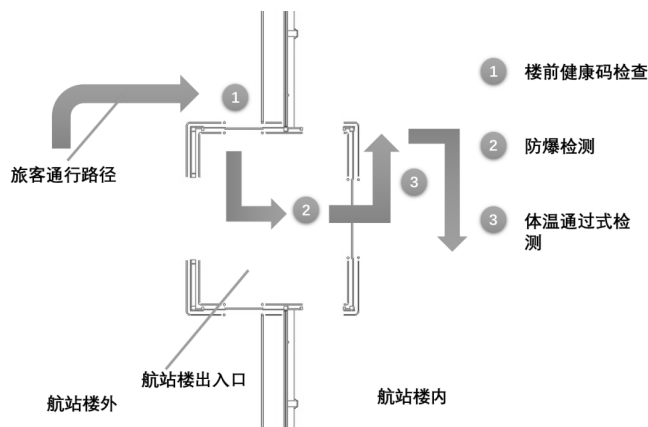


图1 楼前防爆检测现场布局图

旅客到达出发层车道边后，首先来到航站楼出入口的侧边门，向工作人员出示手机健康码；工作人员核验完成后，旅客进入到出入口内，接受安检员的爆炸物炸药探测试纸擦拭；安检员将试纸放入炸药探测器中进行检测，待探测器确认安全后，放行等待的旅客。需要说明的是，一张炸药探测试纸在实际使用中一般对约5名旅客同时进行擦拭，再插入设备仪器中检测，待确认安全后，安检员对5名旅客同时放行。因此，在排队模型的仿真过程中，需要以一次5人的顺序建立模型，以满足实际测试的流程。

在完成炸药探测后，旅客进入航站楼内，在通过拉带围成的路径过程中，需接受体温检测。由于该过程不涉及排队的情况，对楼前安检一般不会造成拥堵，因此，本文不把测温过程纳入仿真模型进行模拟^[9]。

1.2 “X光机+人身”检查模式

“X光机+人身”检查模式类似于隔离区内安检通道的安检模式，但区别在于前端无验证环节，安检机采用大通道尺寸X光机安检设备（一般为100100型）对旅客行李进行检查。安检员对旅客行李、身体等可能藏匿爆炸物的物件进行安全扫

描。该模式的布局图如图2所示。

旅客到达出发层车道边后，首先来到航站楼出入口正门，向工作人员出示手机健康码，待工作人员核验完成后进入到出入口内；然后将行李放置在X光机上，并进入金属安全门完成人身检查；最后在X光机后端提取自己的行李，并离开此安检区域。虽然该过程的安检环节看似只涉及健康码查验、旅客行李检查、人身检查等三个环节，但进行具体分析以及对流程详细分解后，可以发现存在多个“排队-服务”环节。例如，除健康码查验环节外，还涉及旅客在安检机前端排队放置自己的行李、排队等待人身检查、行李在安检机的皮带上排队接受X光安检机的扫描、旅客完成人身检查后，去X光安检机的后端排队领取自己的行李等环节。

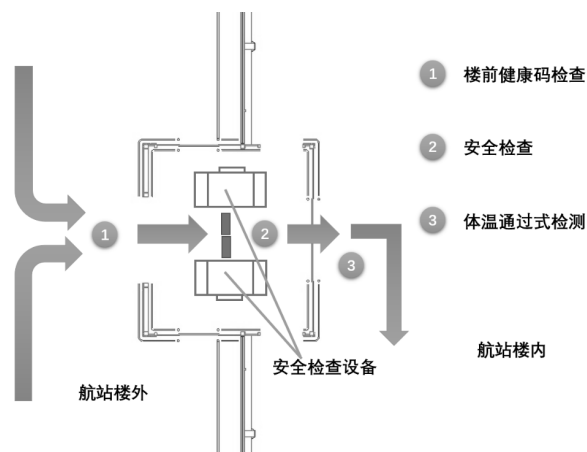


图2 “X光机+人身”检查模式

1.3 防爆闸机检测模式

防爆闸机过检模式是采用闸机作为楼前安检的硬件平台，在闸机上面集成了证件验真、人脸识别、爆炸物探测、体温检测等多个功能。旅客来到防爆闸机前，只需要插入身份证件或护照，即可完成上述所有的检测过程。该模式可以减少机场楼前安检员工数量，是目前楼前一种新式安检模式。该模式已经在北京大兴国际机场航站楼、哈尔滨太平国际机场T2航站楼等地进行了部署和使用。该模式布局如图3所示。

旅客来到出发层车道边后，直接进入航站楼出入口，并在工作人员引导下，取出身份证，将身份证插入闸机的身份证读取口。此时，闸机同时完成以下几个操作：读取身份证信息并与旅客人脸进行比对，以确认人证是否相符；对痕量爆炸物以及易燃液体残留进行提取和检测；对旅客的体表温度进行检测。待设备完成上述的所有操作后，通知旅客通行与否。通过此检测的旅客即可进入航站楼内，进入后续的登机前流程。

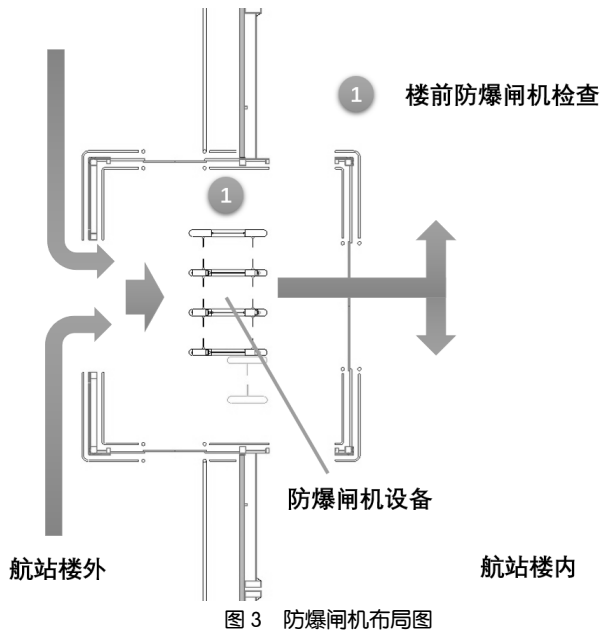


图3 防爆闸机布局图

由于该防爆闸机设备采用通道式设计，同时由于航站楼出入口的面积有限，通道的部署数量不仅会受到出入口面积的制约，也会受到机场采购预算的制约。因此，每个航站楼出入口设置此类型设备通道的具体数量无法无限制地扩大，具体通道数量将对出入口安检效率产生直接的影响。本文后面将探讨该模式在单个航站楼出入口最优化的部署数量^[4]。

2 排队模型构建

2.1 防爆检测模式数学模型

防爆检测模型可以分解为两个基本单节点，分别为排队模型和单个节点采用 M/M/1 排队模型，即旅客到达的时间、服务时间都是指数分布的独立随机变量。该模型的示意图如图 4 所示。

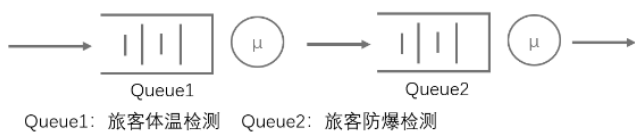


图4 防爆检测模式排队模型

2.2 “X 光机 + 人身”检测模式数学模型

“X 光机 + 人身”检测模式可以分解为旅客体温检测、旅客在安检机前端放置行李、行李检查、人身检查、提取行李等多个基本单节点排队模型。需要注意的是，由于每个航站楼出入口一般放置有 2 个 X 光安检机，因此，该模型为 M/M/2 排队模型（如图 5 的 Queue2 和 Queue2'）；另外，旅客行李经过 X 光机安检与人身检查是并行的过程，旅客在 Queue4 环节排队提取行李。该模型的示意图如图 5 所示。

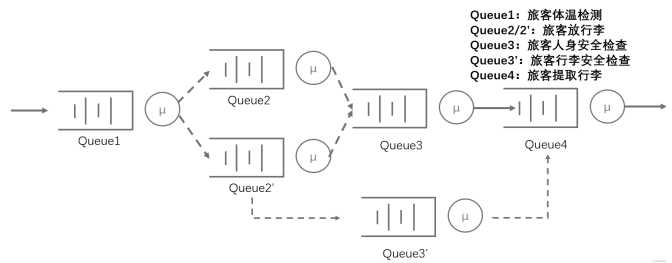


图5 楼前安全检查排队模型

2.3 防爆闸机模式数学模型

由于防爆闸机集成了健康码查验、测温、防爆检查等诸多功能，因此在楼前只涉及一站式通关。该模型可以采用 M/M/N 模型进行描述。该排队模型示意图如图 6 所示。

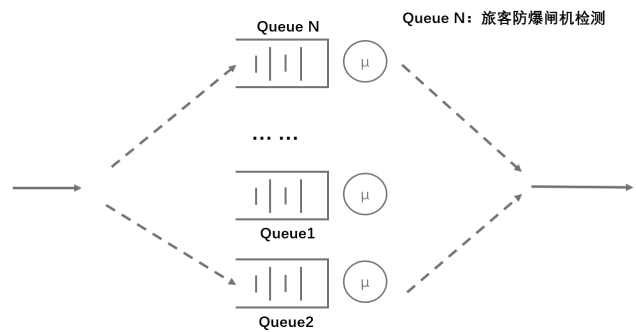


图6 防爆闸机排队模型

本文对于防爆闸机的数量在后面分别采用“N=1、N=2、N=3、N=4”方式进行仿真模拟，以便于研究不同的闸机数量对于过检效率的影响，从而获得防爆闸机的最优（效率最高）部署方式。

3 仿真分析

某机场航站楼全年旅客出发层最高峰时段按照泊松分布进行模拟，各安检模式的服务时间标准值依据现场统计数据，亦采用泊松分布进行模拟仿真。在 Matlab 环境对上述各类安检模式搭建排队仿真模型，随进入航站楼旅客数量的增加，各类安检模式排队时间的曲线分布图如图 7 所示。

从图 7 中的仿真模拟数据结果可以看出，4 通道型防爆闸机安检模式和 X 光机安检模式（2 个通道）过检效率最高（且此两种模式过检效率差异不明显）。随着旅客到达数量的增加，几乎没有出现旅客排队、积压的情况；3 个通道型防爆闸机效率次之；2 个通道防爆闸机、楼前防爆模式的过检效率再次之、且两种模式旅客排队情况相差不大；1 个通道防爆闸机的过检效率情况最差，随旅客流量的增加最容易造成排队和积压的情况^[5]。

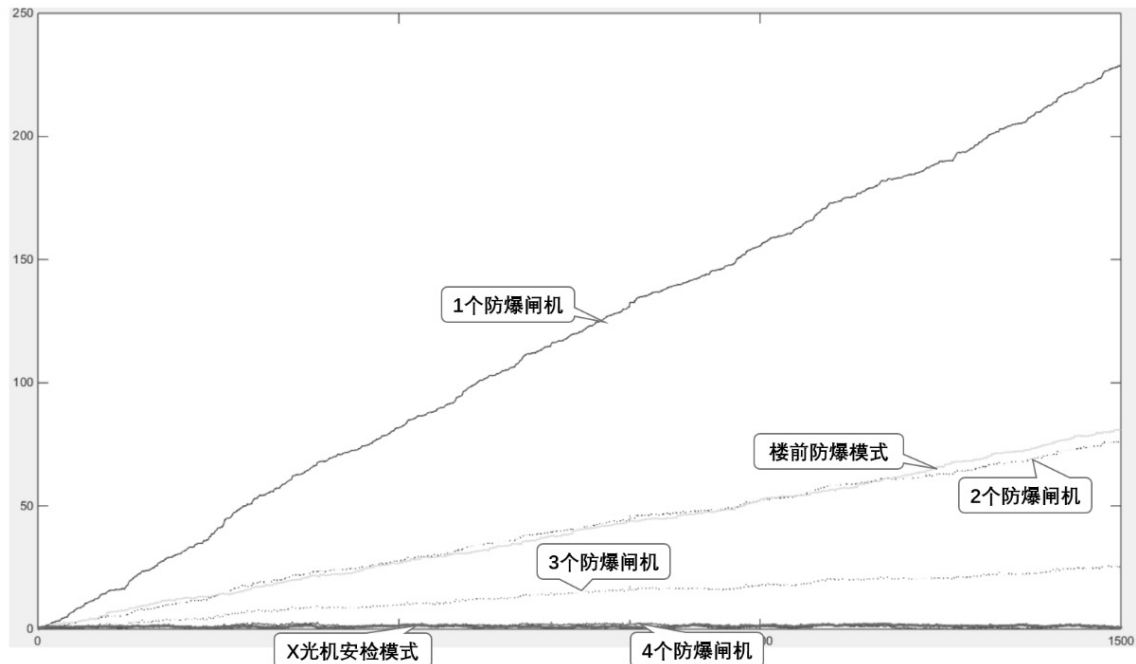


图7 楼前各类型安检模式排队仿真结果

4 仿真的结论

根据模拟仿真的结论,也可以对现有楼前安检模式提出一些优化方案。一是针对楼前防爆检测模式,可以采用多进样口的炸药探测仪器,以便同一时间内增加被检测旅客的数量,降低平均等待时间;二是针对“X光机+人身”检测模式,适当延长前后X光机胶带机长度,减少旅客排队时长,同时,可以适度增加安检员数量,减少人身检测等待时间;三是针对防爆闸机模式,应当提升设备探测和处理速度,确保在尽量减少通道数量的情况下,也能保证现场旅客的通过效率需求。

5 结语

综上所述,将此排队模型仿真结果与现场真实数据相比较,不考虑特殊情况,各类型安检模式平均等待时间、平均过检时间与实测数据较为匹配,模拟结果与实际情况基本相符,可以作为机场对航站楼楼前各类安检模式评估、方案设计的参考方案,以减少不必要的人力和物力投入。

该仿真模型也存在不足之处,即需要根据各地机场旅客行为统计特点加入特殊情况设计。例如,旅客不熟悉安检流程情况、旅客未带证件等,这些特殊情况会对现场效率和排队情况

产生一定的影响。这些特殊情况有待后续根据现场统计数据,在该模型中增加并完善。

参考文献:

- [1] 范换利, 刘丹. 竞争情境下中国机场运营效率研究[J]. 大连海事大学学报(社会科学版), 2022, (04): 81-87.
- [2] 张天炫, 包丹文, 朱婷, 等. 基于社会力模型的机场旅客排队模型[J]. 系统工程与电子技术, 2020, (08): 1776-1783.
- [3] 查明, 刘涌. 机场安检排队系统仿真算法优化分析与实现[J]. 信息记录材料, 2021, (09): 89-90.
- [4] 吴登磊, 赵宁, 刘文奇. 基于指标比对串联排队系统平均排队时间的近似方法[J]. 南京航空航天大学学报, 2020, (04): 645-649.
- [5] 于剑, 黄燕彬, 褚衍昌. 机场运营效率的组合评价方法研究[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版), 2011, (04): 77-81.

作者简介: 黄加翼(1986-),男,四川江油人,硕士研究生,工程师,主要从事民航机场安全检查研究。