



工业和信息化部“十二五”规划专著



国家自然科学基金项目资助 (项目批准号: 61179069/F01)

民用机场航站楼资源动态配置 及调度智能化理论

● 程绍武 张亚平 别一鸣 著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

工业和信息化部“十二五”规划专著

民用机场航站楼资源动态配置 及调度智能化理论

程绍武 张亚平 别一鸣 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

V3J1.1

03

内 容 简 介

本书系统地阐述民用机场航站楼旅客服务资源动态分配和调度智能化的基本理论。全书共8章, 主要内容包 括: 引言、航站楼旅客服务资源动态配置和调度的数据集成方法、航站楼旅客流量预测的数据挖掘方法、航站楼旅客流量预测的混沌时间序列分析方法、航站楼旅客流量异常预警方法、航站楼旅客行李需求预测方法、航站楼旅客服务流程建模方法、航站楼旅客服务资源仿真优化方法。

本书可作为民航高等学校高年级本科生和研究生相关课程的参考教材, 也可供民航相关领域的研究人员和工程技术人员学习、参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

民用机场航站楼资源动态配置及调度智能化理论/程绍武, 张亚平, 别一鸣著. —北京: 电子工业出版社, 2015.3
工业和信息化部“十二五”规划专著

ISBN 978-7-121-25288-4

I. ①民… II. ①程… ②张… ③别… III. ①民用机场—航站楼—资源配置 ②民用机场—航站楼—调度—智能设计 IV. ①V351.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 303821 号

策划编辑: 王晓庆

责任编辑: 谭海平 文字编辑: 任欢欢

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市京南印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 17.75 字数: 454 千字

版 次: 2015 年 3 月第 1 版

印 次: 2015 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 58.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

序

民航运输因其快捷、安全、舒适已经成为经济社会生活中不可缺少的重要组成部分，它对保障社会经济体系和人们日常生活的正常运转发挥着越来越重要的作用。

随着航空运输的发展，民用机场建设取得了巨大发展，但相应的管理方式主要还是基于实践经验的“定性”管理，航站楼在旅客高峰时期拥堵，低峰时期设备和人员空转的情况普遍存在。这表明，单纯依靠机场“硬件”的扩充而沿用传统的管理方式来解决航站楼旅客吞吐量问题，不仅成本昂贵，而且运行资源的利用效率相对较低。

为此，需要将先进的信息技术、数据通信技术、运筹学、数据库技术、计算机仿真和人工智能技术综合运用于机场航站楼的管理系统，在系统工程的整体思想指导下，将航站楼管理系统的各子系统与气象系统、计算机离港系统、全球分销系统进行综合集成，利用航站楼旅客流量的历史数据、全球分销系统的旅客订座信息、计算机离港系统的航班和旅客的行李信息等，对航站楼的旅客到达流量进行准确预测，在此基础上，对航站楼的旅客服务资源进行动态配置和智能调度，最有效地利用航站楼的旅客服务资源，提高航站楼的运营效率和旅客服务水平。

航站楼旅客服务资源的动态配置和调度智能化并不意味着航站楼管理的完全自动化。对旅客离港和到港过程进行管理时，只是希望航站楼运营更加秩序化，使资源利用的效率最大化。利用计算机辅助航站楼管理者进行预测、处理和决策，在航站楼管理中，更重要的还是人的作用。

航站楼旅客服务资源的动态配置和调度智能化将推动航站楼管理由粗放的“定性”管理方式向精细化的“定量”管理方式的转变，是未来航站楼管理的发展方向。只有充分利用信息技术的最新成果，挖掘信息资源的最大潜力，才能有效提高航站楼的运营效率和旅客服务水平，满足日益增加的民航运输服务需求。

我国是当今世界民航基础设施建设发展最快的国家，但仍满足不了经济快速发展对民航运输服务水平的要求。为此，我国也加大了对民航科技领域研究的投入，特别是在2003年原中国民用航空总局与国家自然科学基金委共同签订并启动了联合资助基金项目，旨在发挥国家自然科学基金的优势，推动知识创新与技术创新的结合，吸引全国范围内的优秀科技工作者和资源投入到以我国民航事业发展为背景的基础性研究中，提升我国民用航空科技源头创新能力。

我们相信，随着现代高科技的飞速发展，航站楼资源动态配置和调度智能化理论必将在我国有着良好的发展前景，随着该理论研究的不断深入和运营管理中的成功应用，定会对提高航站楼的运营效率和旅客服务水平的提高起到重要作用。

我们期望本书的出版将有助于推动我国在航站楼管理智能化研究领域的探索和发展。

中国民用航空局原副局长、教授 杨国庆



2015年1月21日

前 言

航站楼是机场内为旅客提供从陆上交通转换至空中交通的重要基础设施。航站楼旅客服务资源是指从旅客到达航站楼到离开航站楼期间航站楼内与旅客服务相关的所有设施、设备和人员的总和。航站楼旅客服务资源的配置和调度直接关系到航站楼的旅客服务水平和运营效益。

航站楼管理智能化是民航运输信息化的重要组成部分。航站楼旅客服务资源的动态配置和调度智能化是一种全新的航站楼资源管理模式。它利用现代信息技术,通过融合民航运输各子系统中有关气象、订票、旅客和到港/离港航班的信息,预先感知航站楼的到港/离港旅客流量和旅客的行李处理需求,动态地优化航站楼旅客服务资源的配置和调度,最大限度地发挥旅客服务资源的效能,从而提高航站楼的旅客服务水平和运营效益。

本书共 8 章,按照信息处理的顺序,分别从航站楼旅客服务资源动态配置和调度的数据集成方法、航站楼旅客流量预测及预警方法、航站楼旅客行李处理需求预测方法,以及航站楼旅客服务流程建模及仿真优化方法 4 个方面介绍航站楼旅客服务资源动态配置和调度智能化的基本理论。具体内容包括:第 1 章阐述航站楼旅客服务资源动态配置及调度智能化的内容、目的、意义及其理论体系;第 2 章介绍航站楼旅客服务资源动态配置及调度数据集成的数据源、需求分析、集成框架、数据模型、数据预处理方法及数据分析示例;第 3 章介绍人工神经网络、决策树、 k -近邻算法、规则推导等数据挖掘技术在航站楼旅客流量预测中的应用;第 4 章介绍航站楼旅客流量时间序列的混沌特征判别方法、噪声平滑方法和预测模型;第 5 章介绍航站楼旅客流量异常的预警指标、预警模型,以及航空骨干网络旅客流量预警系统;第 6 章介绍航站楼旅客行李处理需求预测模型的设计、优化、验证及评估方法;第 7 章介绍航站楼旅客服务流程的建模及正确性和性能分析方法;第 8 章介绍航站楼旅客服务资源配置及调度的仿真优化方法。

本书的主要内容来源于作者主持承担的国家自然科学基金项目(项目批准号:61179069/F01)的研究成果。在本书即将付梓、出版之际,作者由衷地感谢参加本书文字和校对工作的课题组成员,他们是博士生刘丽华、尚涤非、廉冠、郝斯琪,硕士生郭圆圆、邓双龙、杨志超、吴忠君、田原、许稷、张海波、牟秋、范琪、高倩、贾国洋、刘翰宁。

哈尔滨工业大学宋申民教授和中国民航大学邢志伟教授对全书进行了审阅,电子工业出版社的王晓庆编辑和任欢欢编辑为本书的出版和文字编辑做了大量工作,工业和信息化部有关部门的同志为策划和推动本书的出版做出了许多努力,在此一并表示感谢!

本书是我国第一部系统阐述航站楼旅客服务资源动态配置及调度智能化的概念和理论的学术专著,书中的不少内容还处于学术探索阶段,期望本书的出版能够起到抛砖引玉的作用,为推动航站楼管理智能化理论的深入研究、并最终应用于航站楼管理实践尽绵薄之力。由于作者视野和水平有限,错误和疏漏之处在所难免,恳请各位同行和读者批评指正。

作 者

2014 年 12 月

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 航站楼旅客服务资源概述	1
1.1.1 值机设施	1
1.1.2 安检设施	2
1.1.3 登机口和登机桥	3
1.1.4 行李处理设施	3
1.1.5 政府联检设施（海关、边检、检疫）	3
1.1.6 商业经营设施	4
1.1.7 工作人员	4
1.2 航站楼旅客服务资源的配置及调度	4
1.2.1 值机设施配置及调度	5
1.2.2 安检设施配置及调度	8
1.2.3 登机口、登机桥配置和调度	9
1.2.4 行李处理设施配置和调度	11
1.2.5 政府联检设施（海关、边防、检疫）的配置和调度	12
1.2.6 商业经营设施的配置和调度	12
1.3 航站楼旅客服务资源动态配置及调度智能化	13
1.3.1 航站楼旅客服务资源动态配置及调度智能化的目的、意义	13
1.3.2 航站楼旅客服务资源动态配置及调度智能化的理论体系	14
参考文献	15
第 2 章 航站楼旅客服务资源动态配置及调度的数据集成方法	17
2.1 概述	17
2.1.1 数据集成的概念和任务	17
2.1.2 旅客服务资源动态配置及调度数据集成的意义	17
2.1.3 航站楼旅客服务资源动态分配及调度的数据源	18
2.2 常用的数据集成方法	19
2.2.1 基于联邦数据库的数据集成方法	19
2.2.2 基于中间件的数据集成方法	20
2.2.3 基于数据仓库与数据集市的数据集成方法	20
2.3 航站楼旅客服务资源动态配置及调度数据集成需求分析	21
2.3.1 不影响原业务系统的正常运行	21
2.3.2 提供资源动态配置及调度所需的数据	21
2.3.3 支持多维、多粒度的数据分析	21

2.3.4	快速响应数据查询	22
2.4	基于数据集市的航站楼旅客服务资源动态配置及调度数据框架	22
2.4.1	数据源	23
2.4.2	数据抽取—转换—装载	24
2.4.3	航站楼平面布局数据模型	25
2.4.4	旅客服务流程数据模型	27
2.4.5	数据集市的多维数据模型	27
2.4.6	OLAM	28
2.5	数据集市的逻辑模型	28
2.5.1	确定数据集市的需求	28
2.5.2	确定数据集市模型的结构	29
2.6	数据预处理实例	31
2.6.1	非空间数据预处理	32
2.6.2	航站楼平面布局数据 ETL	41
2.7	探查式数据分析	43
2.7.1	探查航班数量的分布规律	43
2.7.2	探查航站楼旅客流量随时间分布的规律	46
2.8	确定网上值机旅客先于飞机起飞到达航站楼的时长	49
	参考文献	52
第3章	航站楼旅客流量预测的数据挖掘方法	53
3.1	基于人工神经网络的方法	53
3.1.1	人工神经网络	53
3.1.2	BP 神经网络	54
3.1.3	建立 BP 神经网络的步骤	55
3.1.4	BP 神经网络在离港旅客流量预测中的应用	57
3.1.5	结论	58
3.2	基于决策树的方法	59
3.2.1	决策树方法	59
3.2.2	应用案例	61
3.3	基于 k -近邻算法的方法	63
3.3.1	k -近邻算法概述	63
3.3.2	实例	66
3.4	基于规则推导的方法	69
3.4.1	关联规则基本概念	69
3.4.2	关联规则的挖掘	70
3.4.3	经典算法—Apriori 算法	71
3.4.4	Apriori 算法的改进	72
3.4.5	实例	72
3.5	基于回归分析的方法	75

3.5.1	线性回归与多变量回归	75
3.5.2	非线性回归	76
3.5.3	其他回归模型	76
3.5.4	航站楼离港旅客流量回归分析预测模型	77
3.5.5	实例	77
	参考文献	79
第 4 章	航站楼旅客流量预测的混沌时间序列分析方法	80
4.1	混沌时间序列预测理论分析	80
4.1.1	混沌运动特性分析	80
4.1.2	混沌特征量	81
4.1.3	混沌时间序列预测方法	84
4.1.4	预测方法的选取	87
4.1.5	小结	88
4.2	航站楼离港旅客流量时间序列混沌性判别	88
4.2.1	数据来源和分析	88
4.2.2	混沌时间序列相空间重构	90
4.2.3	时间序列混沌性判别	92
4.2.4	航站楼离港旅客流量时间序列混沌性判断	93
4.2.5	小结	99
4.3	航站楼离港旅客流量时间序列噪声平滑	99
4.3.1	混沌信号噪声平滑理论及标准	99
4.3.2	基于小波理论的噪声平滑方法	102
4.3.3	航站楼离港旅客流量时间序列去噪	105
4.4	航站楼离港旅客流量预测	108
4.4.1	径向基函数神经网络	108
4.4.2	离港客流预测的 RBF 模型	109
4.4.3	实例	110
4.4.4	模型应用价值分析	113
	参考文献	114
第 5 章	航站楼旅客流量异常预警方法	115
5.1	航站楼旅客流量异常分析	115
5.1.1	航站楼旅客流量特性统计规律分析	115
5.1.2	航站楼旅客流量异常产生的原因	117
5.1.3	航班延误分析	118
5.1.4	航站楼旅客流量异常的应对策略	128
5.2	航站楼旅客流量异常预警指标	128
5.2.1	航站楼旅客流量异常风险及分类	128
5.2.2	航站楼旅客流量异常预警指标的选取	129

5.2.3	航站楼旅客流量异常预警量级的划分	130
5.2.4	航站楼旅客流量异常预警的内涵	131
5.2.5	航站楼旅客流量异常预警的内容	132
5.3	航站楼旅客流量异常预警模型	132
5.3.1	常用预警建模方法	132
5.3.2	航站楼旅客流量异常预警模型的建立	134
5.3.3	航站楼旅客流量异常预警模型的不足与优化	137
5.4	仿真案例	138
5.4.1	数据获取	138
5.4.2	标定模型	138
5.4.3	模型评价	140
5.5	航空骨干网络旅客流量预警系统	140
5.5.1	航站楼旅客流量异常与航空骨干网络稳定的相互影响	140
5.5.2	航空骨干网络上进行流量预警的特点	141
5.5.3	航空骨干网络异常预警系统的构成	142
5.5.4	航空骨干网络预警模型的假设与建立	143
5.5.5	航空骨干网络旅客流量异常预警的不足与优化	146
	参考文献	146
第 6 章	航站楼旅客行李需求预测方法	148
6.1	离港旅客托运行李需求特性的分析	148
6.1.1	航站楼旅客的离港特性	148
6.1.2	航站楼离港旅客的行李特性	149
6.1.3	托运行李需求的量化指标分析	150
6.1.4	托运行李需求的影响因素分析	151
6.1.5	托运行李需求影响因素相关程度权重分析	154
6.2	离港旅客托运行李需求预测方法的选择	157
6.2.1	常用预测方法的分析	157
6.2.2	国外航站楼旅客行李需求预测常用方法	158
6.2.3	行李需求预测的多元线性回归预测方法	159
6.2.4	行李需求预测的 BP 神经网络方法	162
6.3	托运行李需求预测 BP 神经网络模型的建立	166
6.3.1	输入、输出指标的确立	166
6.3.2	建模数据的准备与预处理	167
6.3.3	模型网络的设计	168
6.3.4	托运行李预模型的训练	169
6.3.5	托运行李需求预测模型	170
6.4	预测模型的优化	178
6.4.1	预测模型的局限性	178
6.4.2	模型改进的方法	179

6.4.3 模型的优化	180
6.5 模型的验证与评价	185
6.5.1 预测模型准确性验证	185
6.5.2 预测模型准确性评价	188
6.5.3 预测模型的实用性分析	189
参考文献	190
第 7 章 航站楼旅客服务流程建模方法	192
7.1 典型航站楼旅客服务流程	192
7.1.1 值机流程	193
7.1.2 安检流程	194
7.1.3 海关及检疫流程	194
7.1.4 边防检查流程	195
7.1.5 候机和登机流程	195
7.1.6 进港流程	195
7.1.7 中转旅客服务流程	196
7.2 航站楼旅客服务流程调查	196
7.2.1 调查内容	196
7.2.2 调查方案	198
7.2.3 调查实施	199
7.2.4 调查结果与分析	200
7.3 基于 Petri 网的航站楼旅客服务流程建模	202
7.3.1 Petri 网理论	202
7.3.2 随机 Petri 网	207
7.3.3 广义随机 Petri 网	209
7.3.4 扩展 Petri 网	210
7.3.5 基于 Petri 网的旅客服务流程建模	211
7.4 基于 Petri 网的航站楼旅客服务流程模型分析	216
7.4.1 模型结构可靠性分析	216
7.4.2 模型的性质验证	220
7.4.3 模型性能分析	221
参考文献	239
附录 1 调查表格	240
附录 2 某机场调查问卷	241
第 8 章 航站楼旅客服务资源仿真优化方法	242
8.1 航站楼旅客服务资源仿真优化概述	242
8.1.1 航站楼旅客服务资源配置与流程仿真优化的关系	243
8.1.2 航站楼旅客服务资源优化的类型	243
8.1.3 航站楼旅客服务资源仿真优化的目标	245

8.1.4	航站楼旅客服务资源仿真优化的基本过程	246
8.2	航站楼旅客服务资源仿真的基本方法	247
8.2.1	仿真软件	247
8.2.2	仿真模型	249
8.3	航站楼旅客服务资源配置及调度仿真分析	251
8.3.1	航站楼旅客服务资源配置及调度仿真分析的作用	251
8.3.2	航站楼旅客服务资源配置及调度仿真分析的步骤	252
8.4	航站楼旅客服务资源配置及调度量化评价指标	253
8.4.1	航站楼旅客服务流程与资源优化配置的关系	253
8.4.2	航站楼旅客服务评价	254
8.4.3	航站楼旅客服务标准	254
8.5	航站楼旅客服务流程模型的建立	256
8.5.1	航站楼旅客服务流程模型的组成	257
8.5.2	建立航站楼旅客服务流程模型的步骤	260
8.6	航站楼旅客服务资源配置和调度模型的仿真执行	264
8.6.1	执行仿真的步骤	264
8.6.2	航站楼旅客服务资源分配仿真优化模型的应用实例	267
8.6.3	仿真结果分析	270
	参考文献	270
	附录 1 调查表格	271
	附录 2 哈尔滨太平国际机场调查问卷	272

第1章 引言

保障航班安全正点是民航便捷运输的基本要求,针对航空运输效率,美国在新一代民用航空运输系统(Next Generation Air Transportation System, N-GATS)中确立了明确的发展目标:除在极恶劣天气条件下,旅客可在到达航站楼30分钟内离港^[1]。我国民航2013年旅客运输量已经突破3.5亿人次,随着航空运输业的迅速发展,带来了航空需求尤其是旅客运输需求的急剧增长,由于旅客流量增大,经常发生旅客在航站楼内值机、安检等区域的长时间滞留,极易引发群体事件,给民航运输业带来很大的负面影响,航站楼旅客服务资源分配及调度问题已然成为国际民航界研究的重点。

本书介绍了智能化航站楼旅客服务资源分配及调度的数据集成方法、航站楼旅客流量预测方法及智能化的航站楼旅客服务资源分配及调度仿真优化方法,旨在提出解决航站楼旅客服务资源智能分配及调度问题的基本方法。

本章概述航站楼旅客服务资源及目前的资源配置和调度方法,包括航站楼旅客服务资源各类设施的基本功能、设备、工作流程,之后在分析各类设施目前的配置及调度方法的基础之上,提出航站楼旅客服务资源动态配置及调度智能化的意义和理论框架。

1.1 航站楼旅客服务资源概述

航站楼是机场的重要子系统,作为机场陆侧的重要组成部分,在机场系统中占有重要地位,它不仅是旅客办理乘机手续的地方,也是旅客休息与购物的场所。航站楼旅客服务资源主要包括为旅客值机、安检、登机、行李处理、政府联检等活动配置的设施及工作人员,以及为旅客购物、餐饮等活动提供服务的商业设施。

1.1.1 值机设施

值机,即为旅客办理乘机手续,是民航旅客地面服务的重要组成部分。值机业务的内容包括办理乘机手续、接收托运行李、运输凭证的识别与管理、飞机的接送和业务电报的拍发。

值机流程包括核对旅客身份证和电子行程单信息、打印登机牌等。如果旅客有行李交运,则为其办理行李托运手续。值机需要完成“办票”和“行李托运”两项服务^[2]。

值机模式分为传统柜台值机、自助值机和网上值机^[3]。

(1) 传统柜台值机

最为常见的情况是旅客携带机票、有效证件到达机场后到值机柜台换取登机牌,同时托运行李,这种值机模式称为传统柜台值机。传统柜台值机所需的资源主要是值机柜台。

在我国,虽然绝大部分航空公司已经开通自助值机或网上值机服务,但由于行李自助值机模式尚未推广,旅客必须到值机柜台办理托运行李手续,因此,大部分携带托运行李的乘客、初次乘机或较少乘机的旅客,以及对计算机操作不大熟悉的乘客仍然会选择传统柜台值

机模式值机。目前,该模式仍然是国内应用最为普遍的一种值机模式。

- 优势:安全可靠、信息可达度高,符合一般人的思维模式。
- 劣势:传统柜台值机对于值机空间有特定要求,空间资源占用多。需要的排队时间较长、人工办理手续需要的时间也较长。

(2) 自助值机模式

自助值机针对电子客票旅客,航空公司在航站楼提供自助值机设备,旅客凭个人证件自助打印登机牌。自助值机模式所需的资源主要为自助值机设备。

- 优势:操作时间短、排队时间短,方便快捷,适合携带行李较少的商务旅客,是目前较流行的一种值机模式。自助值机不需要柜台设施,不需要大量的工作人员,只要一台占用空间很少的自助值机设备,自助值机模式的广泛推广可以大大节省空间占用。
- 劣势:适用范围受限;随着自助值机旅客的持续增多,需要逐步调整航站楼的空间布局,对出发大厅的空间布局重新规划。

(3) 网上值机模式

网上值机是指旅客通过网络完成座位选择、电子登机牌打印等值机手续,旅客到达机场航站楼后,可直接凭打印的登机牌和身份证件进入安检。使用该模式,旅客可以足不出户,通过互联网提前预订座位,免去往日在机场值机柜台排队以及和值机工作人员交涉安排座位的烦恼。这种更加简便快捷的值机模式,是信息时代下旅客值机模式发展的必然趋势。其特点是无须占用航站楼空间。

- 优势:对出发大厅内设施零利用,出发大厅成了一个仅供穿越的公共空间。从空间集约的角度讲,随着网上值机旅客比例的增加,新建机场航站楼出发大厅的面积可相应缩小。对于已建成的航站楼出发大厅,多余的公共空间增大,为新功能的置入提供了可能性。
- 劣势:适用范围受限;随着自助值机旅客比例的持续增多,需要调整航站楼的空间布局。

1.1.2 安检设施

安检是指在机场对旅客及工作人员进行安全检查,它在保障人员密集场所安全中起着非常重要的作用。机场安检系统由查验证件、人身检查、行李检查三部分组成,其中人身检查与行李检查同时进行,但当行李检查出现异常,需要开箱检查时,必须在完成人身检查后,由旅客注视认可下实施。

机场安全检查工作所要检查的对象是能够登机的人员和物品,人员包括旅客、工作人员以及机组人员,物品包括所有人员的手提行李、旅客的交运行李、货运物品等^[4]。安检工作由安检工作人员现场操作,同时,利用网络将图像、数据传输到安检系统中控台,对现场检测工作进行远程监控,对检测数据进行存储和备份。

安检设施主要包括:金属武器探测门、手持金属探测器,以及X射线安全检查设备等^[5]。

1. 旅客及工作人员的安全检查

对旅客及工作人员的安检工作通常使用金属探测门配合手持金属探测器完成。

(1) 金属探测门

金属探测门属于一种固定安装的检测设备(简称“安检门”),主要用来检查随身携带的金属物品。当被检查人员从安检门通过时,人身携带的金属超过根据质量、数量或形状预先

设定的参数值时,安检门即刻报警,并显示报警区位,使安检人员及时发现被检查人员所带的违禁金属物品。

(2) 手持金属探测器

手持金属探测器用于检测隐藏的金属物体,比金属探测门具有更高的灵敏度,探测时声、光同时报警,使用简单、方便,无须调整,使用 DC 9V 高能电池可以连续工作 40 小时以上,且电池电压不足时,会有自动连续声音警告。

2. 行李物品的安全检查

对行李物品的安全检查一般采用 X 射线安全检查设备(简称“安检机”)。安检机有手提行李检查安检机和交运行李检查安检机两大类。手提行李检查安检机适用于对手持小件行李检查;交运行李检查安检机适用于对大宗行李检查。具体操作时,可针对不同行李,依据不同的安检流程,由安检工作人员现场操作,也可进一步组建网络系统。

爆炸物检查系统(Explosive Detection Systems-EDS)和爆炸物追踪探测器(Explosive Trace Detection Machine-ETD)这两种设备在行李安检中也比较常见。

1.1.3 登机口和登机桥

登机是指旅客在航站楼连廊内,根据航班计划通知,从航站楼移动到机舱的过程,包括登机桥登机及远机位登机口登机两种形式^[6]。

登机桥是机场用以连接候机厅与飞机之间的可移动和升降的通道^[7]。每个机场都有多个登机桥位,就是连接候机楼和飞机舱门的桥。一端连接候机楼的某个登机口,一端扣在飞机舱门上,旅客由对应的登机口进入飞机。与登机桥的作用相同的还有客梯车,客梯车用于在乘客上下飞机时将梯口对准飞机舱门。

登机桥登机,即旅客通过登机口后,直接由连接候机楼与飞机之间的廊桥进行登机,旅客总体步行行程短,不受天气条件干扰,满意度高;远机位登机口登机指旅客通过登机口后,经由航空公司或地面代理公司通过地面运输车辆,沿停机坪内指定道路,被运送到飞行器周边,再通过客梯车进入机舱,整体流程运行时间长,且受到天气条件干扰,雨雪天容易导致旅客不满。

1.1.4 行李处理设施

行李处理设施是航站楼内处理行李流的关键设施,贯穿于航站楼内的主要流程节点,主要由离港行李处理设施、到港行李处理设施、行李中转设施、早到行李储存设施、大件行李处理设施等组成,其中离港行李处理设施又分为值机设施、交运行李安检设施、行李分拣设施^[8]。

1.1.5 政府联检设施(海关、边检、检疫)

海关、边检、检疫由中华人民共和国海关、中华人民共和国公安部出入境管理机构、中华人民共和国环境卫生检疫部门独立运行,航站楼仅提供必要的场地和设备协助。

1. 海关

海关的主要职责是对出关的物品进行检查,以符合中国海关对出境物品管理的有关规定。检查的目的,主要是确认旅客所携带的行李物品是否符合有关规章、法令,并分别予以免税或纳税。法律规定不许可出境或入境的物品可予以罚没。出入境旅客应当向海关申报,不申

报或不如实申报，都是逃避海关监督的行为。情节严重的，要追究法律责任。

2. 边检

边检的主要职责是核对护照和签证，进行安全检查，在办理出关手续过程中，最好把护照，签证与机票放在一起。具体程序是，拿到登机牌之后应办理边防验证手续，这时边防人员会查验有关证件，在进入安全门后再对手提行李进行安全检查。

3. 检疫

旅客出入境时，国家卫生检疫部门要检查预防接种证书，即黄皮书。有时一些国家免验，但有些国家对某些流行病检查特别严格，例如智利、墨西哥、澳大利亚、新西兰等国家要求入境的外国人，出具预防霍乱和预防黄热病的接种或复种证明书。出国者如果遗忘了申办接种证明书，到达这些国家时，可能会被隔离，采取强制检疫措施。

中国国境卫生检疫部门根据旅客来自国家或地区的不同，决定是否实施检疫。随着世界疫情变化，现须检疫的传染病有鼠疫、霍乱、黄热病等。中国出国人员在出国前应 与中华人民共和国北京卫生检疫所或上海卫生检疫所联系，也可与当地防疫部门联系，了解需要办理何种检疫手续。

1.1.6 商业经营设施

航站楼内的商业经营设施在满足旅客进行购物、餐饮等需求的同时，也为机场带来了不可忽视的非航空盈利。

从我国枢纽机场的旅客需求和未来发展来看，机场商业功能类型可以分为零售、餐饮、休闲、服务等四大类^[9]（见表 1-1），体现了机场社会化、旅游化、商业化的发展趋势。机场商业设施是实现机场商业功能的保障。

表 1-1 航站楼商业业态统计

类 型	业 态 组 合
零售类	免税店 服饰 首饰 手表 电子产品 书籍 便利店 零食店
	工艺品纪念品店 箱包皮具 烟酒茶 玩具 百货店 超市 化妆品
餐饮类	便捷快餐 主题餐厅 咖啡店 酒吧 小吃 水果店
休闲类	美容美发 沐足 电影院 动漫 休闲吧 茶艺馆 儿童活动区
服务类	贵宾休息 计时旅馆 宾馆 会议 邮局 银行 外币兑换 行李寄存 商务中心 手机电话卡 汽车租赁

1.1.7 工作人员

航站楼旅客服务工作人员是指为从事航站楼值机、安检、登机、行李处理、政府联检、商业经营各项服务的人员。

1.2 航站楼旅客服务资源的配置及调度

航站楼旅客服务资源的配置及调度主要包括值机设施的配置及调度、安检设施的配置及调度、登机口和登机桥的配置和调度、行李处理设施的配置和调度、政府联检设施（海关、边检、检疫）的配置和调度、商业经营设施的配置和调度。

1.2.1 值机设施配置及调度

1. 值机设施配置与调度的内容

值机设施配置与调度的内容包括：值机柜台的分配方式、旅客排队方式，以及值机柜台开放时间规则。

1) 值机柜台的分配方式

(1) 按旅客类型分配，分为经济舱柜台、头等舱柜台、无行李柜台、团体柜台等。

(2) 按使用方式分配，分为公用柜台和专用柜台。

① 公用柜台是指由多家航空公司共同使用，各柜台可同时办理各航空公司各航班的旅客值机手续；

② 专用柜台是指由某航空公司单独使用，各柜台只办理指定航班的旅客值机手续；

③ 局部公用柜台是指同一航空公司的各柜台可以同时办理多个航班的旅客值机手续，是某航空公司的专用柜台在一定程度上实行公用。

(3) 按柜台开放数量是否变动，分为静态分配和动态分配。

① 静态分配：同一航班或同一航空公司开放固定数量的值机柜台；

② 动态分配：值机柜台数量会根据不同时段、不同旅客到达情况实时调整柜台开放的数量。

2) 旅客排队方式

旅客的排队方式有两种：

(1) 旅客在一个柜台前排一个队列，形成一个个单服务台单队列排队系统；

(2) 多个柜台前排一个队列，形成 s 个服务台，一个队列的排队系统。

旅客排队方式与航班类型和柜台分配方式有关，一般国内值机区域两种排队方式都会采用，取决于航空公司航班规模和机场相关政策；国际值机区域多采用多个柜台排一个队列的方式。柜台采用公用方式时，旅客值机队列有两种形式：一个柜台一个队列、多个柜台一个队列；采用专用方式时，旅客值机一般采用一个柜台一个队列的排队方式。

多个柜台一个队列的排队方式，队列通常较长。为充分利用值机区空间，需使用活动栅栏一类的隔离设施进行队列形状规划，一般规划成蛇形队列，并有服务员引导。这种队形比一个柜台一个队列的队形更有效率，但却会给旅客一种错觉，感觉队伍很长，因此引起旅客不满。实际上这种队列虽然看上去长，但旅客的平均排队时间比单队列短。

3) 值机柜台开放时间规则

不同机场对值机柜台开放时间有着不同规则，国内航班有的规定航班起飞前2个小时，有的规定航班起飞前1个半小时，有的甚至没有时间限制，全天候随到随办；国际航班有的规定提前4小时，有的规定提前2个半小时。

值机柜台的开放时间会对行李分拣中心的人员安排、候机厅座位和空间大小、登机门和停机位指派工作产生一定影响。值机一般在航班起飞前半小时关闭，若仍有极少数旅客在值机关闭后才到达，并且旅客无须托运行李，在保证不影响航班起飞的情况下，可能会安排到主任柜台办理。

2. 值机设施配置与调度的研究现状及发展趋势

1) 研究现状

目前，值机柜台分配由人工根据以往经验和简单的启发式方法完成，基于航班的值机开

放时间及航班旅客到达高峰时段的历史经验来安排本航空公司或公用的人工值机柜台、自助值机柜台开放的数量。

1996年, Hon Wai Chun 在机场柜台数有限情况下, 从机场营运者角度针对航空公司提出租用机场柜台时间与数量的问题进行研究。把值机柜台的分配问题描述为一个多维放置问题 (Multi-dimensional placement problem), 主要考虑的因素为各航班能租用的最大柜台数, 将此问题视为约束满足问题 (Constraint-satisfaction problem), 并开发了多维调度算法 (Multi-dimension scheduling algorithm) 求解。以香港机场为例, 运用多维参数分析并将两维分析方法 (手工排班方法) 与之对比, 但涉及具体方法较少, 没有涉及算法问题^[10]。

1999年, Hon Wai Chun 在值机柜台的分配优化问题研究中进一步开发了智能化资源仿真系统^[11] (Intelligent resource simulation system), 其能够对机场的资源需求进行预测并应用于机场柜台分配系统 (CCAS, Check-in counter allocation system)。先用仿真系统预测向旅客提供一定水平的服务时, 单个航班应分配多少值机柜台, 再把预测结果用于约束满足系统来进行实际分配。该系统可以预测资源需求, 有效地配置现有值机柜台。同时考虑到了人工分配不能考虑到的如不同旅客的到达率等问题。

2003年, Ahn SB 和 Park Y 基于旅客到达机场行为建立值机柜台指派优化模型^[12]。建模时采用旅客调查来决定旅客依据自身航班离港时刻到达航站楼的时间。然后运用旅客到达分布来计算值机柜台最适合的开放数量及每个柜台应该开放的时段。指派模型已在韩国首尔金浦国际机场使用。该模型不仅为值机柜台实时指派的有效执行提供了应用系统, 而且还为开发有效、长期的方案以解决旅客在航站楼的拥挤延误问题提供了一种方法。它也为航空公司提供了一种更具成本效益的值机柜台运营方式, 因此能提高客户服务水平。

2004年, Shangyao Yan 等开发了一个整数规划模型以协助机场分配公用值机柜台^[13]。该研究首次以不一致性定义不同天柜台指派结果的差异, 以旅客步行距离最小为目标, 考虑了许多复杂因素。由于问题规模相当大, 求解起来较困难, 因此采用启发式方法, 包含三个启发式模型, 通过使用单纯形法和分枝定界法解决。为了测试所建模型和解答方法的运用情况是否良好, 以台湾中正国际机场为实例进行了分析。

2005年, Shangyao Yan 等进一步研究柜台数量可变情况下公用值机柜台分配总体不一致性问题, 开发了 0-1 整数规划模型, 为解决实际中的大规模问题, 利用 CPLEX 数学规划软件, 设计了启发式算法进行求解^[14]。

2006年, Nico M. van Dijk 和 Erik van der Sluis^[15]提出值机柜台分配问题需要随机性方法 (仿真) 和确定性方法 (整数规划) 相结合来解决。首先, 使用仿真来确定每个独立的航班在一定服务水平下所需要的最少值机柜台数。其次, 运用整数规划求解相同航班柜台需相邻这一限制条件下, 最小柜台总数和柜台开放小时总数。文中对稳定和变化容量下的开放间隔都做了研究。一个基于实际操作规则的算例说明, 等待时间、柜台使用数量和柜台工作小时数可实现三赢。

杨跃辉和高金华^[16]在分析航站楼概念和特征的基础上, 指出了定性、定量计算航站楼容量的方法, 应用排队论对值机、安检、行李托运等各个功能单元容量进行分析计算, 找到流程中的瓶颈环节, 研究处理的是最为简单的单柜台单队列的情况。

刘长等有^[17]为充分有效地利用有限的值机柜台资源为乘客提供满意的值机服务, 采用排队论研究了旅客到达模式对值机服务的影响, 分别给出在旅客均匀到达和非均匀到达两种情况下单个航班值机应使用的合理柜台数, 采用整数规划方法对多个航班分配值机柜台的最小配置问题进行求解, 并用实际航班数据对模型进行仿真验证。