

# 本科毕业论文

题目:

基于单片机的 PM2.5 检测和报警系统

Software and Hardware Design of a Community  
Garbage Sorting Station Based on Microcontroller

学院:

外国语学院

专业:

商务英语

学号:

学生姓名:

指导教师:

2024年6月1日

# 基于粒子群算法的成都双流国际机场的停机位分配优化研究

**摘要：**因为我国经济的迅猛发展，各种政策持续的开放，民航运输业逐渐在我国交通运输业中占据主要地位，整个民航业迈入了崭新的时期。根据我国民航局公布的《2021年全国运输机场生产统计公报》显示，在70多年的时间内，运输周转量大幅增长，我国已经成为民航大国。

在我国民航运输业迅猛发展的情形下，大部分民航机场有限的资源配套情况已不能满足数量大量增长的航班需求，成为限制我国民航业迅猛发展的主要因素。因此，只有合理地分配、使用机场的资源配套才能缓解这一问题。

本文首先以民航机场停机位分配这一复杂问题为研究背景，综合考虑旅客、航线、机场等三个方面的因素，以最小化航班滑行油耗成本，最小化停机位空闲时间成本以及最小化停机服务成本为优化目标函数，构建了民航机场基于综合成本的多目标停机位分配模型。然后使用粒子群算法，对民航机场停机位分配问题进行求解，但由于基本粒子群算法存在易进入局部最优，过早收敛或停滞的问题，采用两种方式对基本粒子群算法进行改进。

本文结合国内某民航机场的实际情况，采用Matlab程序对民航机场停机位分配实例进行仿真，验证了基于综合成本最小的多目标停机位分配方案对于降低成本的有效性，同时验证了改进后的粒子群算法具有较好的搜索能力和求解精度。并结合已验证的多目标停机位分配模型进行民航机场停机位分配管理系统的设计。

**关键词：**民航机场；停机位分配；粒子群算法；多目标优化

# Research on optimization of parking space allocation at Chengdu Shuangliu International Airport based on particle swarm optimization

**Abstract :** Because of the rapid development of China's economy and the continuous introduction of opening-up policies, the civil aviation transportation industry has gradually occupied a major position in our transportation industry, and the civil aviation industry has entered a new era. According to the Transportation Statistics Bulletin of the Civil Aviation Administration in 2021, the turnover of civil aviation industry in China has increased significantly in more than 70 years, making China a major country in civil aviation.

With the rapid development of China's civil aviation transportation industry, the limited resources of most civil aviation airports can no longer meet the growing demand for flights, which has become the main factor restricting the rapid development of China's civil aviation industry. Therefore, this problem can only be alleviated by rational allocation and use of airport resources.

This paper first takes the complex problem of airport gate allocation as the research background, comprehensively considers the benefits of passengers, airlines and airports, takes the minimization of fuel consumption of flight taxiing, the minimization of idle time cost of gate and the minimization of parking service cost as optimization objective functions, and builds a multi-objective gate allocation model for civil aviation airport based on comprehensive cost. Then, it applies particle swarm optimization (PSO) to solve the gate allocation problem of civil aviation airport, because the basic particle swarm optimization (PSO) is prone to fall into local optimum and premature converge or stagnation. It uses two ways to improve the basic particle swarm optimization (PSO).

In this paper, combining with the actual situation of a domestic civil aviation airport, the example of airport gate allocation is simulated by using MATLAB program, which verifies the effectiveness of multi-objective gate allocation scheme based on minimum comprehensive cost for cost reduction, and also verifies that the improved particle swarm optimization algorithm has better search ability and solution accuracy. Then it designs a civil aviation airport gate allocation management system combined with the verified multi-objective gate allocation model.

**Keywords:** Civil aviation airport; Gate allocation; Particle swarm optimization; Multi-objective optimization

# 目 录

1 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.1.1 研究背景介绍.....	1
1.1.2 研究意义.....	1
1.2 国内外相关研究进展.....	2
1.2.1 粒子群算法研究综述.....	2
1.2.2 多目标优化问题研究综述.....	2
1.2.3 最优化乘客服务质量研究综述.....	3
1.3 本文主要研究内容.....	3
2 停机位分配问题相关理论及算法.....	5
2.1 机场设施及机场运行相关概念.....	5
2.1.1 机场系统.....	5
2.1.2 航班.....	6
2.1.3 停机位.....	6
2.2 停机位布局及分配理论.....	6
2.2.1 停机位布局.....	6
2.2.2 停机位的分配.....	8
2.2.3 停机位的分配流程.....	8
2.3 停机位分配的约束条件分析.....	8
2.4 粒子群优化算法.....	9
2.4.1 粒子群算法构成.....	10
2.4.2 粒子群算法流程.....	10
3 多目标停机位分配模型与算法设计.....	12
3.1 民航机场的停机位分配建模.....	12
3.1.1 民航机场停机位分配问题的难点.....	12
3.1.2 假设条件.....	12
3.1.3 参数定义.....	13
3.1.4 优化目标.....	13
3.1.5 约束条件.....	14
3.2 单目标停机位分配优化模型.....	14
3.2.1 最小化航班滑行油耗成本的停机位分配模型.....	14
3.2.2 最小化停机位服务成本停机位分配模型.....	15
3.2.3 最小化停机位空闲时间成本停机位分配模型.....	16

3.3 多目标停机位分配优化模型 .....	16
3.4 求解停机位分配模型的粒子群算法设计 .....	16
3.5 改进粒子群算法设计 .....	16
3.5.1 杂交粒子群算法 .....	16
3.5.2 自然选择粒子群算法 .....	17
4 民航机场停机位分配实例仿真 .....	19
4.1 沈阳桃仙国际机场简介 .....	19
4.2 机场停机位分配案例数据 .....	19
4.3 单目标停机位分配结果与分析 .....	20
4.3.1 最小化航班滑行油耗成本的停机位分配结果与分析 .....	20
4.3.2 最小化停机位服务成本的停机位分配结果与分析 .....	22
4.4 基于综合成本的多目标停机位分配结果与分析 .....	24
5 民航机场停机位分配管理系统设计 .....	26
5.1 民航机场管理系统概述 .....	26
5.2 民航机场管理系统的软件开发原则 .....	26
5.3 民航机场停机位分配管理系统的设计理念 .....	27
5.3.1 民航机场管理系统的设计原则 .....	27
5.3.2 民航机场管理系统的设计理念 .....	27
5.3.3 民航机场停机位分配管理系统的特​​点 .....	28
5.4 民航机场停机位分配管理系统的功能设计 .....	28
5.4.1 系统总体框架 .....	28
5.4.2 系统数据库设计 .....	30
5.5 民航机场停机位分配管理系统的仿真实现 .....	30
5.5.1 实时监控系​​统 .....	31
5.5.2 自动分配执行系​​统 .....	32
5.5.3 分配结果可视化系​​统 .....	32
结 论 .....	34
参考文献 .....	35
致 谢 .....	37

# 1 绪论

## 1.1 研究背景与意义

### 1.1.1 研究背景介绍

成都双流国际机场作为中国西南地区的重要航空枢纽，承载着大量的国内外航班起降任务<sup>[1]</sup>。然而，随着航空业的快速发展和旅客数量的持续增长，机场的停机位分配问题逐渐凸显。传统的停机位分配方法往往基于经验或固定的策略，难以适应复杂多变的航空运输环境<sup>[2]</sup>。因此，如何优化停机位分配，提高机场的运行效率和服务质量，成为了一个亟待解决的问题。

粒子群算法（Particle Swarm Optimization, PSO）是一种基于群体智能的优化算法，其灵感来源于鸟群、鱼群等生物的社会行为<sup>[3]</sup>。PSO通过模拟群体中的个体之间的信息共享和协作，能够快速找到复杂问题的最优解。近年来，PSO在许多领域得到了广泛应用，包括航空运输、电力系统、城市规划等<sup>[4]</sup>。

本研究旨在利用粒子群算法对成都双流国际机场的停机位分配进行优化研究。通过构建合适的优化模型，将停机位分配问题转化为一个求解目标最优的问题。然后，利用PSO对模型进行求解，得到最优的停机位分配方案。期望通过本研究，为成都双流国际机场的停机位分配提供科学依据和决策支持，提高机场的运行效率和服务质量。

### 1.1.2 研究意义

基于粒子群算法的成都双流国际机场停机位分配优化研究意义深远。首先，该研究为机场管理者提供了科学的决策依据。通过粒子群算法对停机位分配进行优化，可以更加合理地利用有限的停机位资源，减少资源浪费和冲突，提高机场的运行效率。这有助于机场管理者在面对复杂的航班调度和停机位分配问题时，做出更加明智和有效的决策。

其次，该研究有助于提高机场的整体运行效率和服务水平。优化停机位分配可以减少航班的延误和等待时间，提高航班的正点率。同时，合理的停机位分配还可以方便旅客的上下机和行李提取，提升旅客的出行体验。这对于提高机场的竞争力、吸引更多旅客以及促进地区经济发展都具有重要意义。

最后，该研究对于推动相关领域的学术研究发展也具有积极作用。粒子群算法作为一种先进的优化算法，在停机位分配问题中的应用可以为其他类似问题提供借鉴和参考。同时，该研究还可以促进人工智能算法在航空运输领域的实际应用，推动相关技术的创新和发展。这对于提升我国航空运输领域的科技水平和国际竞争力具有重要意义。

综上所述，基于粒子群算法的成都双流国际机场停机位分配优化研究不仅具有重要的理论价值，还具有广泛的实践意义和应用前景。

## 1.2 国内外相关研究进展

### 1.2.1 粒子群算法研究综述

粒子群算法（particle swarm optimization，简称 PSO）的基础定义源自对鸟类群体觅食现象的深入研究。于 1953 年，由美籍的社会心理学家 Kennedy 和英籍的电气工程师 Eberhart 在关于鸟类群体行为的研究模型与仿真过程中，受到结果的启发，首次提出粒算法。

在国外，GD Gosling 等（2019）认为，粒子群算法的实质上是一种全局的随机搜索算法，粒子集群中的每个粒子都在不停的进行搜索，其中各个粒子的搜索的行为都会受集群中其他粒子不同程度的影响。为此，通过专家系统建立停机位分配模型，采用粒子群算法，对机场停机位分配问题进行了探讨<sup>[5]</sup>；O.Babic 等学者（2020）认为，在粒子群优化算法中由于各个粒子还具有对其最佳位置记忆的能力，使得每个粒子的搜索行为既受集群中其他粒子的影响还受自身经历的影响。为此，应用数学规划以旅客总步行距离最短和停机位平均空闲时间最少为目标函数建立优化模型，利用 0-1 整数规划探讨分配问题<sup>[6]</sup>。

在国内，张艳华（2021）认为，粒子群算法通过每个粒子间的相互合作和相互竞争的过程进行优化搜索，所以其搜索速度和效率都比较理想，模型操作简单。为此，综合考虑模型复杂度和现实意义两方面后，建立了多目标优化模型，并用混合粒子群算法求解，使航班能够在停机位上得到合理有效的分配<sup>[7]</sup>；柴桂安（2022）认为，粒子群算法搜索范围较广，比较适用于动态优化或多目标优化问题，可以根据每个粒子对其自身最佳位置记忆的能力，能够在寻找优化问题的最优解。为此，建立了停机位分配问题的多商品网络流模型，利用离散粒子群算法进行模型求解，并选取乌鲁木齐机场某时段 240 架航班和 109 个机位为例进行实验，并利用 TAAM 仿真对分配结果进行验证<sup>[8]</sup>。

### 1.2.2 多目标优化问题研究综述

在国外，G.Sena Das（2020）提出了一种新的多目标停机位分配模型，综合考虑机场运营商的购物收入以及旅客的总步行距离<sup>[9]</sup>；Wu Deng 等人（2021）以乘客最小步行距离、各闸机空闲时间方差最小、停机坪最小熄灯次数和大闸机的最合理利用为多目标进行优化<sup>[10]</sup>；Bert Dijk 等（2022）提出了一种综合考虑最小化旅客步行距离，最小化航班滑行距离，最大化分配到近机位以及最大化潜在商业收入的评估预分配模型<sup>[11]</sup>。

在国内，刘芳等人（2021）将停机位映射为商品，运用二值整数多商品网络流

模型，以燃油消耗成本和对乘客舒适度影响最小的双目标对停机位实时再分配优化进行研究<sup>[12]</sup>；邢志伟等人（2022）设计了基于机位空闲时间、远机位占用时间最小的双目标拉格朗日松弛优化算法，并采用次梯度算法进行求解<sup>[13]</sup>；李亚玲等（2022）以机场“最大化停机位使用率”以及“最小化乘客行走路程”为目标函数，并分别从提供乘客服务质量、优化机场和航空公司的运行效益等多目标开展了停机位分配研究<sup>[14]</sup>。

### 1.2.3 最优化乘客服务质量研究综述

在国外，Babic 等人（1984）以最小乘客的步行距离为优化目标，创建了 0-1 整数规划模型，并利用分支界定法完成了最佳优化计算，但并没有考虑到中转旅客因素的影响问题<sup>[15]</sup>；Mangoubi 和 Mathaise 等（2021）加入了对中转乘客情况的考虑，并建立了以所有乘客步行距离最短为优化目标的数学模型，将启发式计算和线性规划问题结合，对模型进行求解<sup>[16]</sup>；LimA 等（2022）率先建立以最小化步行距离为目标函数的停机位动态分配数学模型，并利用启发式算法对模型进行研究求解<sup>[17]</sup>。

在国内，冯程等人（2020）建立了以旅客出入机场飞行区时间最小为优化目标的民航机场停建机位分配数学模型，并开展了计算机仿真模拟实验，并与 ACES 系统中的停机位随机分配模型开展了比较<sup>[18]</sup>；陈骁睿（2021）以停机位利用最合理和乘客的步行距离最短为总目标构建了分配模型，并设计出可拖拽的民航机场停机位分配系统<sup>[19]</sup>；怀永成等人（2022）以乘客走行时间最短，变动停机位数量最小，近机位利用率最高的三个目标，进一步优化了停机位再分配系统<sup>[20]</sup>。

综上所述，围绕停机位分配问题，从粒子群算法、多目标优化问题、最优化乘客服务质量三方面，对国内外学者研究情况进行综述分析。对粒子群算法的研究和运用，国外起步较早，但是我国学者应用的也非常深入，进行了有效的论证。对多目标优化问题的研究，国内外学者均从全局性的角度优化停机位分配问题，使停机位分配的综合效能最大化，开展了将优化目标两两组合进行多目标优化的研究。最优化乘客服务质量方面，国内学者研究虽然都有侧重点，但都是围绕提高乘客满意度，改善民航机场的业务管理水平等方面进行着手。本文基于粒子群算法的成都双流国际机场停机位分配优化研究采用 Matlab 程序对民航机场停机位分配实例进行仿真，验证了基于综合成本最小的多目标停机位分配方案对于降低成本的有效性，同时验证了改进后的粒子群算法具有较好的搜索能力和求解精度，不仅具有重要的理论价值，还具有广泛的实践意义和应用前景。

## 1.3 本文主要研究内容

第一章主要介绍了研究的背景及其意义，阐述了成都双流国际机场停机位分配问题的现状和挑战，以及基于粒子群算法进行优化研究的必要性和重要性。



第二章详细探讨了停机位分配问题的相关理论和算法，包括传统的分配方法以及现代智能优化算法的应用，为后续研究提供了理论基础。

第三章则重点设计了多目标停机位分配模型算法，通过结合粒子群算法和其他优化技术，旨在实现更高效、更合理的停机位分配方案。

第四章进一步提出了停机位分配管理系统的设计思路，旨在将优化算法应用于实际管理中，提高机场运营效率和服务水平。

第五章总结了研究的主要成果和贡献，同时展望了未来的研究方向和应用前景，为相关领域的研究和实践提供了有益的参考和借鉴。

## 2 停机位分配问题相关理论及算法

### 2.1 机场设施及机场运行相关概念

#### 2.1.1 机场系统

机场系统是一个复杂且高度集成的运输节点，它为航空器的起降、旅客的集散以及货物的装卸提供了必要的基础设施和服务。根据国际民航组织 ICAO 的定义，机场是“陆地或水面上供飞机起飞、着陆和地面活动使用的划定区域，包括各种建筑物、装置和设施”。从功能布局的角度来看，机场系统主要由飞行区域、地面运输区域和候机楼区域三个部分构成。飞行区域是航班进行起降和滑行的核心区域，它包括了跑道、滑行道、停机坪等关键设施，确保航空器的安全、高效运行。地面运输区域则是地面车辆和机场乘客进行活动的区域，包括停车场、道路系统、公交车站和铁路站点等，它负责连接机场与外部交通网络，实现旅客和货物的快速集散。候机楼区域是旅客进行登机手续办理、安检、候机以及抵达后提取行李的主要场所，它提供了舒适、便捷的候机环境和各种旅客服务设施。

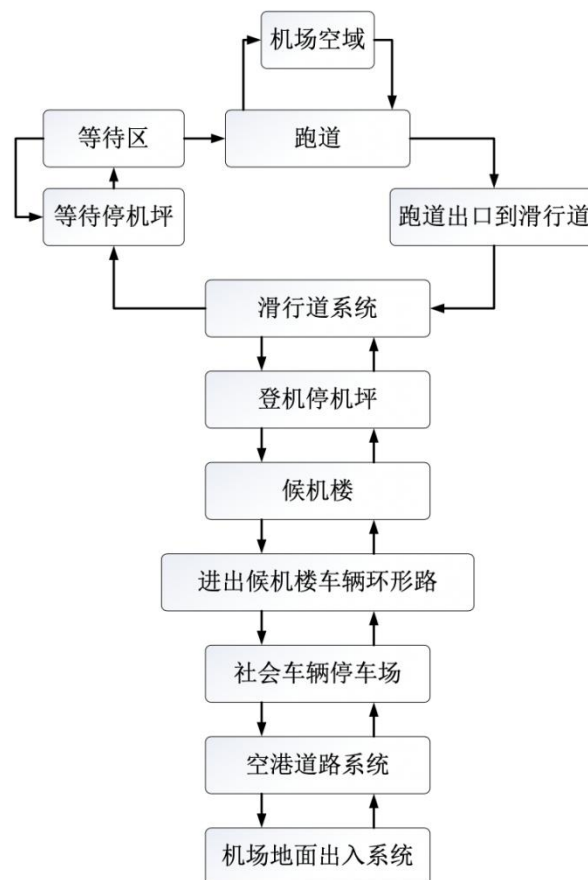


图 2.1 机场系统

此外，从空间布局的角度来看，机场系统可以划分为陆域系统和空域系统两大

组成部分。陆域系统主要包括候机楼场所和机场地面出入系统。候机楼场所是机场的核心建筑之一，它为旅客和货物提供了办理手续的服务以及上下航班的设施；而机场地面出入系统则是旅客在航班与路面交通之间进行转换的关键节点，包括了廊桥、登机口、行李提取区以及连接候机楼与外部交通的道路和停车场等。

### 2.1.2 航班

航班是航空运输的基本单位，涉及客机从起点到终点的整个飞行过程。航班具有唯一标识的航班号、确定的航线、明确的进离港时间以及承运的航空公司。执行航班的飞机按其载客量分为大型、中型和小型。大型飞机载客超 200 人，内设双通道；中型飞机载客在 100-200 人之间，为单通道设计；而小型飞机则载客不足 100 人。这种分类有助于根据航班需求和机场条件灵活调整飞机使用，确保航空运输的安全与效率。

### 2.1.3 停机位

停机位是机场内供航班停放的特定位置和区域，具有唯一编号和不同类型。按位置和区域可分为近机位和远机位；按容量则有大、中、小三种，分别适应不同载客量的航班。停机位还有可用状态属性，即在特定时间段内是否能被航班使用。若某时间段内停机位已被占用，则该时段内其状态为不可用。这种分类和管理方式有助于机场高效利用停机位资源，确保航班按时起降，提高整体运营效率。

## 2.2 停机位布局及分配理论

### 2.2.1 停机位布局

如上文 2.1.3 所述，民航机场的停机位主要分为近机位和远机位两大类。由于远机位距离航站楼相对较远，乘客需要通过专门的摆渡车服务来实现登机、下机等活动。相比之下，近机位靠近航站楼的廊桥，极大地方便了乘客的出入，其布局方式直接受到航站楼规划布局的影响。布局方式主要有以下几种：

#### (1) 线型布局：

在我国民航机场中，停机位的布局方式多种多样，但线型布局是最简单且常见的一种方式。这种布局方式多用于中小型机场，航站楼多为矩形结构，停机位则沿着航站楼的一侧依次排列，形成一条直线。这种布局方式的优点是简洁明了，方便机场管理人员进行统一管理和调度。同时，对于旅客而言，线性布局的停机位也能够提供相对清晰的指示和引导，有助于旅客快速找到自己的航班登机口。如图 2.2 为线型布局停机位示意图。

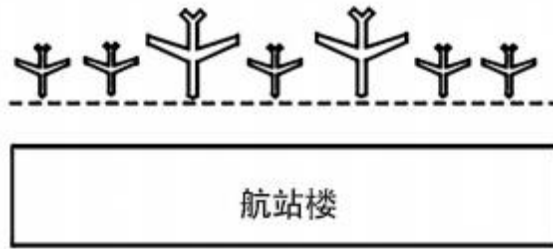


图2.2 线型布局停机位

(2) 指廊型布局:

指廊型布局中，航站楼主体向外延伸出指型廊道，停机位则分布在廊道两侧。这种布局常见于大型机场，优势在于能让旅客在同一个候机大厅内接受服务，提高了便利性。如图2.3为指廊型布局停机位示意图。

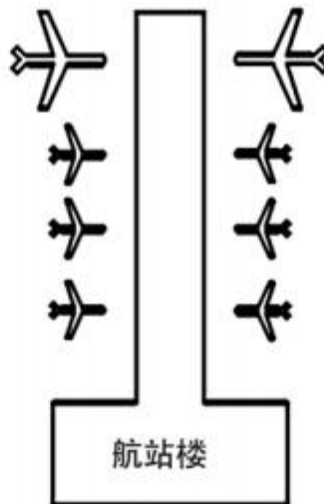


图2.3 指廊型布局停机位

(3) 卫星型布局:

卫星型布局中，机场会在主楼外增建辅楼作为登机厅，并通过廊道与主楼连接。停机位则围绕在登机厅周围，像卫星一样分布，这种布局能有效利用空间资源。如图2.4所示，该布局方式能清晰展示其特点。实际上，民航机场的停机位布局方式灵活多样，可能是上述几种方式的混合体。在规划布局时，应重点考虑如何充分利用地形条件、提高停机位资源利用率，以缩短旅客步行距离和时间，从而优化旅客的出行体验。如图2.4为卫星型布局停机位示意图。

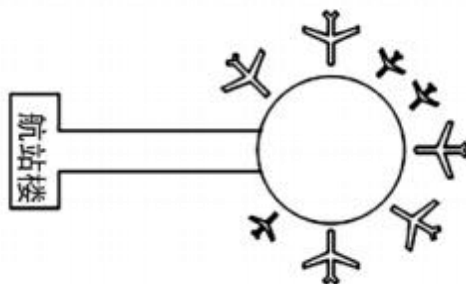


图2.4 卫星型布局停机位

### 2.2.2 停机位的分配

停机位分配是民航机场运行管理的关键环节，涉及机型、停机位大小、航班时刻及数量、机场设施与配置等多重因素。合理的停机位分配能提高资源利用率、保障能力和服务水平，确保民航运输有序进行。因此，在满足安全性的前提下，优化停机位资源配置，降低运转费用，提升运转效率至关重要。这要求机场运行指挥部门精准掌握停机位资源和航班信息，制定科学的分配方案，以实现停机位的高效利用，确保航班准时进离港，提升旅客满意度。

### 2.2.3 停机位的分配流程

在民航机场实际运行中，停机位的分配流程如下图2.5所示：



图2.5 停机位分配流程图

停机位分配包括预分配和实时分配两个阶段。预分配前，需掌握各航班的详细信息，如航空公司、机型、进离港时间和乘客数量等。分配工作人员需核实并修改不完整或不准确的信息，并对特殊航班进行标记和提前安排。在预分配方案基础上，实时分配根据天气、管控信息等因素为航班调整停机位，减少不正常航班。若航班信息变动，需及时调整停机位分配，并通知相关部门。已降落的航班尽量避免停机位变更，可安排外场等候。目前，我国民航机场以预分配为主，结合实时动态分配，但决策主要依赖调度员经验，缺乏科学依据。因此，需引入计算机分配系统实现协同分配，提高停机位分配的效率和科学性。通过优化分配流程，可提升机场运行效率和服务水平，确保航班准时进离港，提升旅客满意度。

## 2.3 停机位分配的约束条件分析

停机位分配是民航机场运行中的一项重要任务，它受到来自机场、航空公司、

乘客等多方面的因素影响。在实际操作中，由于每个机场都有其特殊性，难以考虑所有的约束条件。因此，可以将这些约束条件分为主要和次要两类。

主要约束条件包括唯一性、同一性、安全性、过站时间和航班与停机位类型匹配。每个航班必须且只能分配一个停机位，确保航班的唯一性。同时，同一时间段内单个停机位只能停靠一架航班，以保证机场运行的有序性。安全性是不可忽视的因素，要求前后停靠在同一个停机位上的航班时间间隔必须大于最低安全时间间隔。此外，航班在停机位的过站时间应不小于最短服务时间，确保航班得到必要的服务。航班与停机位类型的匹配也是必须考虑的，大型停机位可停靠所有类型航班，中型和小型停机位则有限制。

次要约束条件包括航班优先级、停机位优先级、停机位安全距离间隔、停机位合并和特殊航班处理。航班优先级考虑航班的重要性和乘客数量等因素。停机位优先级则根据近机位和大型停机位的便利性进行划分。安全距离间隔是为了避免相邻停机位上的航班发生意外。在特殊情况下，如大型停机位不足时，可考虑将邻近的小型停机位合并用于停靠大型航班。对于特殊航班，如航后航班、故障航班等，需要采取相应的处理措施以确保机场运行的安全和效率。这些约束条件的合理应用将有助于提高民航机场的停机位分配效率和服务质量。

## 2.4 粒子群优化算法

粒子群优化算法是一种基于群体智能的优化算法，通过模拟鸟群、鱼群等生物群体的行为，寻找问题的最优解。在算法中，每个候选解都被视为一个“粒子”，并在搜索空间中不断移动，以寻找更好的解。

粒子的移动方向和距离由其速度决定，而速度的更新则受到个体极值和全局极值的影响。个体极值是指每个粒子在当前搜索过程中找到的最优解，而全局极值则是整个种群在当前搜索过程中找到的最优解。通过不断更新个体极值和全局极值，粒子们能够相互学习、共享信息，从而更快地收敛到最优解。

在粒子群优化算法中，每个粒子都代表了一个  $D$  维的向量，其中  $D$  表示问题的维度。粒子的速度也是一个  $D$  维的向量，用于决定粒子在搜索空间中的移动方向和距离。在迭代过程中，粒子的速度和位置按照特定的规则进行更新，这些规则涉及到学习因子、随机数等参数。

学习因子  $c_1$  和  $c_2$  是算法中的重要参数，它们决定了粒子向个体极值和全局极值学习的程度。较大的学习因子可以使粒子更快地收敛到最优解，但也可能导致算法陷入局部最优解。因此，在选择学习因子时需要权衡算法的收敛速度和全局搜索能力。

此外，粒子群优化算法还具有实现简单、易于理解等优点。它不需要复杂的数学运算和推导，只需要通过简单的速度和位置更新规则即可实现优化过程。因此，

粒子群优化算法在实际问题中得到了广泛的应用，如函数优化、神经网络训练、图像处理等领域。

#### 2.4.1 粒子群算法构成

##### (1) 粒子群编码方法

基本粒子群算法用固定长度的二进制串描述个体，每个位置上的基因值为 0 或 1。在算法初始阶段，所有个体的基因值都是随机生成的，且这些随机数是均匀分布的。这种方法简单有效，有助于算法在广泛的搜索空间内寻找最优解。

##### (2) 关键参数

###### 1) 粒子种群规模N

粒子种群由 N 个粒子构成，N 的大小直接影响搜索最优解的范围和概率。种群规模越大，搜索范围越广，找到最优解的可能性也越大。但同时，算法运行时间随 N 的增大而延长。因此，在选择粒子数量时，需权衡搜索效率与时间成本。

###### 2) 适应度函数的建立

粒子群算法通过适应度函数评估粒子质量，依据适应值确定粒子状态极值，并据此更新种群状态。粒子适应值越大，表明其适应度越高，品质越优。这一机制使得算法能够持续向更优解方向进化，提高搜索效率。

###### 3) 惯性权重”

惯性权重在粒子群算法中表示粒子更新速度对原速度的保留程度。权重较大时，全局搜索能力强，但局部收敛能力弱；权重较小时则相反。通常，惯性权重的取值范围在 0.2 到 1.2 之间，以平衡全局和局部的搜索能力。

###### 4) 学习因子（加速常数） $c_1$ 和 $c_2$

学习因子  $c_1$  和  $c_2$  在粒子群算法中分别代表个体极值和全局极值对粒子更新速度和位置的影响。为确保个体和全局极值对粒子更新的平衡影响，通常设置  $c_1$  等于  $c_2$ 。这种设置有助于提高算法寻找最优解的精确性。

###### 5) 粒子的最大速度 $v_{max}$

为限制粒子群算法中粒子的速度，需设定最大速度  $v_{max}$ ，使粒子速度在  $[-v_{max}, +v_{max}]$  内。 $v_{max}$  设定过大会导致粒子错过最优解区域，设定过小则易使粒子陷入局部最优。因此，合理设置  $v_{max}$  对平衡算法的全局和局部搜索能力至关重要。

#### 2.4.2 粒子群算法流程

基本粒子群算法的流程如图2.6所示。

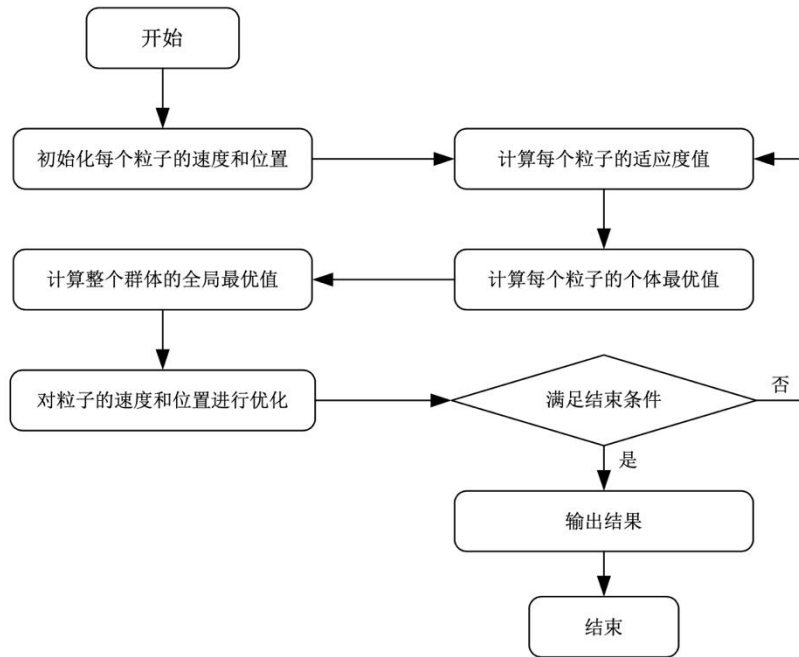


图2.6 基本粒子群算法流程

基本粒子群算法的流程包括初始化设置、计算适应度值、更新个体极值与全局极值、更新粒子速度与位置以及判断是否满足结束条件。首先，设定种群数量、粒子位置和速度；接着，计算每个粒子的适应度值，并与个体极值和全局极值进行比较，更新极值；然后，根据更新规则调整粒子的速度和位置；最后，判断是否达到结束条件，若未满足则返回计算适应度值步骤继续迭代，直至满足结束条件为止。该算法通过不断迭代搜索最优解，具有实现简单、收敛速度快等优点。



## 3 多目标停机位分配模型与算法设计

### 3.1 民航机场的停机位分配建模

#### 3.1.1 民航机场停机位分配问题的难点

民航机场，特别是大型枢纽机场，其航班起降具有显著的时间紧凑性和高密度特点。在航班进出港的高峰期间，停机位资源显得尤为紧张，这无疑增加了停机位管理的复杂性和难度。因此，对于机场停机位的优化调度，业界提出了更为严苛的标准和要求。

考虑到大型枢纽机场航班起降的短时间内高密度特性，停机位的分配问题实质上是一个大规模的整数规划难题，其求解过程相当复杂。同时，除了基本的停机位分配约束外，实际操作中还涉及诸多额外的规定，如为提高航班靠桥率而进行的航班拖拽、特定停机位对相邻航班机型的限制等，这些都使得分配规则变得异常复杂。

此外，根据航站楼运行管理中心的要求，停机位分配计划需在短时间内完成并传达至相关部门，这就要求所采用的算法必须具备高效的运算速度。

综上所述，民航机场的停机位分配问题是一个受多重约束影响的复合组合优化问题。为有效解决这一问题，本文将结合机场的实际业务规则，通过构建约束条件和目标函数，对其进行数学建模。

#### 3.1.2 假设条件

对于民航机场停机位分配问题的建模，本质上是对复杂的机场实际业务规则进行抽象与简化。为了实现这一目标，我们需要设定一些假设条件，以突出主要影响因素，同时忽略次要因素。

首先，我们引入“有限时间段假设”。在现实中，航班的进离港是一个动态、持续的过程，但为便于研究，我们将关注点限制在特定的时间段内，从而减小问题规模，并忽略前一时段停机位占用的影响。

其次，提出“信息完备假设”。这意味着在进行停机位分配研究时，所有关于航班和停机位的关键信息，如航班机型、进离港时间、旅客数量以及停机位布局、数量等，都是已知且完备的。

再者，我们假设“机场容量满足需求”。即机场的停机位容量足以满足当前时段内所有航班的分配需求，确保每个进港航班都能找到合适的停机位。

最后，提出“航班配对假设”。强调每个离港航班都有与其配对的进港航班，且由同一架飞机执行。因此，在研究中，除非特别说明，我们所提及的“航班”均指这种配对航班。这些假设有助于简化模型，使我们能够更聚焦于停机位分配的核心问题。

### 3.1.3 参数定义

在构建基于综合成本的民航机场停机位分配模型时，我们明确了以下关键参数定义：

首先，我们定义  $F$  为研究涉及的所有航班集合， $G$  为所有停机位集合，进一步细分为近机位集合  $G1$  和远机位集合  $G2$ 。

对于航班  $i$  和停机位  $k$ ，我们分别引入了  $ZFi$  和  $ZGk$  来表示它们的类型，这有助于确保航班与停机位的匹配性。同时，我们定义了  $\delta k$  为停机位  $k$  的停机成本系数，以反映不同大小停机位的成本差异。

另外， $S_k$  表示停机位  $k$  到跑道出入口的滑行距离，而  $H_i$  则代表航班  $i$  的平均每千米滑行油耗，这两项参数将用于计算航班的滑行成本。 $Q_{i,k}$  表示航班  $i$  停靠在停机位  $k$  过程中的服务成本， $P_k$  表示停机位  $k$  的空闲时间单位成本，这些成本因素都是模型优化考虑的重要方面。

此外，我们还定义了  $A_i$  和  $L_i$  分别为航班  $i$  的进港和离港时刻， $\lambda$  为航班在停机位的最短停留时间， $T$  为同一停机位上相邻航班的最小时间间隔。这些时间参数对于确保航班的安全和效率至关重要。

最后，我们引入了  $x_{i,k}$  和  $y_{i,j,k}$  两个 0-1 决策变量，用于表示航班与停机位的分配关系以及航班间的占用顺序。这些变量的设置将直接影响模型的求解结果。

### 3.1.4 优化目标

在机场运营过程中，安全性、高效性和经济性是三大核心考量。本文在确保安全性的基础上，着重探讨停机位分配的综合成本优化，以提升机场运营的经济性。安全性是机场运营的首要任务，而高效性则体现在停机位时间和数量的合理分配上。在满足这两点之后，经济性成为航空公司关注的焦点。

航空运输业作为劳动密集型行业，其平均利润率较低，因此降低综合成本、优化停机位资源分配显得尤为重要。本文选取航班滑行油耗成本、停机位空闲时间成本和停机位服务成本作为优化目标。据民航局统计，航班地面滑行油耗成本占航空公司总运营成本的较大比例。因此，合理规划停机位以缩短滑行距离，将显著降低滑行油耗，进而减少运营成本。

此外，根据《民用机场收费改革实施方案行为规则》的征求意见稿，不同类型的停机位收费标准有所差异。因此，为航空器分配适当类型的停机位，避免不必要的停机成本，也是降低机场运营成本的有效途径。综上所述，通过综合优化停机位分配过程中的各项成本，可以在确保安全和高效的前提下，显著提升机场运营的经济性。

### 3.1.5 约束条件

民航机场的停机位分配问题研究涉及诸多条件约束，这些约束条件大致可归纳为两类：基本约束条件和附加约束条件。

基本约束条件主要是确保机场安全、顺畅运营的基础性规定。首先，每个航班必须且仅能停靠在一个停机位上，这是避免混乱和确保安全的基本原则。其次，同一时间段内，单个停机位不允许停靠多个航班，以确保航班间的独立性和安全性。再者，航班在停机位的停靠时间必须满足最小过站时间要求，这是保障航班正常运行和服务质量的重要条件。此外，为了保证航班出入停机位的安全与顺畅，同一停机位上前后相邻的两个航班间需满足最小时间间隔的限制。最后，航班的类型必须与停机位类型相匹配，以确保各种类型和规模的航班都能得到合适的停靠空间。

附加约束条件则更加贴近机场实际运营情况。例如，根据航班的飞行任务性质，如正常航班、晚点航班、补充航班或公务航班，以及客运航班与货运航班的差异，来设定停机位分配的优先顺序。同时，国际航班、国内航班和区域航班在航线性质上的差异也会影响停机位的分配。此外，为了提高停靠安全性，大型航班停靠时，对相邻机位的航班机型会有限定要求。最后，还需考虑其他特殊情况，如航班过夜和航班故障等约束条件。

## 3.2 单目标停机位分配优化模型

### 3.2.1 最小化航班滑行油耗成本的停机位分配模型

从降低航空公司运营成本的角度出发，航班滑行油耗成本是一个重要的考虑因素，约占总成本的 30%。以北京首都国际机场为例，大型飞机地面滑行每分钟的耗油量显著，减少滑行时间能有效节约燃油成本。因此，降低航班滑行路程对于减少油耗成本至关重要。基于这一思路，可以构建以最小化航班总滑行路程为目标的模型，进而实现航班滑行油耗成本的最小化。这将为航空公司带来显著的长期经济效益。

由此，得到如下目标函数：

$$C_1 = \sum_{i \in F} \sum_{k \in G} S_k \cdot H_i \cdot x_{i,k} \quad (3.1)$$

其中约束条件如下：

$$\sum_{k \in G} x_{i,k} = 1, \quad \forall i \in F \quad (3.2)$$

$$x_{i,k} \geq \sum_{j \in F} y_{i,j,k}, \quad \forall i \in F, \quad \forall k \in G \quad (3.3)$$

$$x_{j,k} \geq \sum_{i \in F} y_{i,j,k}, \quad \forall j \in F, \quad \forall k \in G \quad (3.4)$$

$$L_i + T + M(y_{i,j,k} - 1) \leq A_j, \forall i, j \in F, \forall k \in G \quad (3.5)$$

$$y_{i,j,k} + y_{j,i,k} \leq 1, \forall i, j \in F, \forall k \in G \quad (3.6)$$

$$ZF_i - ZG_k \leq M(1 - x_{i,k}), \forall i \in F, \forall k \quad (3.7)$$

约束条件(3.2)明确了停机位使用的排他性原则，即在特定的时间段内，单个停机位只能被一架航班独占，这确保了停机位资源的合理分配和避免冲突。

约束条件(3.3)和(3.4)则共同规定了停机位上航班之间的顺序关系。具体来说，每个被分配到停机位的航班，必须有一个且仅有一个紧接着其后停靠在同一停机位上的后继航班，同时也必须有一个且仅有一个紧接其前停靠在同一停机位上的前驱航班。这样的规定保证了航班在停机位上的有序排列。

约束条件(3.5)和(3.6)关注的是相邻航班之间的时间间隔。它们要求被分配停靠在同一停机位上的前后相邻两个航班，必须满足一定的时间间隔限制。具体来说，前一航班的离港时间和后一航班的进港时间之间的间隔不能小于规定的最小值，这是为了确保航班的安全起降和停机位的顺畅周转。

最后，约束条件(3.7)针对的是停机位与航班类型之间的匹配关系。它要求大型停机位必须能够适配任何类型的航班，中型停机位可以停靠除大型航班以外的其他类型航班，而小型停机位则只能供小型航班停靠使用。这样的规定确保了停机位资源能够根据航班类型的不同进行合理有效的分配。

### 3.2.2 最小化停机位服务成本停机位分配模型

在民航业运营中，降低航班停机成本是提高利润率的关键。由于天气和事故等不可控因素，降低运行成本相对困难，而停机成本则与停机位指派效率和公平性密切相关。因此，通过合理有效的停机位分配，可显著降低停机成本。根据中国民航局 2021 年发布的停机位收费标准，我们可以建立基于停机位服务成本最小的模型，通过优化停机位指派，减少不必要的费用支出，从而提高民航业的经济效益和运营效率。

$$C_2 = \sum_{i \in F} \sum_{k \in G} Q_{i,k} x_{i,k} \quad (3.8)$$

停机位服务成本  $Q_{i,k}$  是一个综合考量因素，它主要取决于航班  $i$  在停机位  $k$  的停留时间、停机位  $k$  的具体类型以及远近机位类型。为了精确计算这一成本，需要采用特定的算法，将这些因素综合纳入考量，以确保成本的准确评估和优化，具体算法如下：

$$Q_{i,k} = \begin{cases} 50 \times \left\lceil \frac{(L_i - A_i) + 29}{30} \right\rceil & (L_i - A_i) \leq 240min, k \in G_1 \\ 55 \times 2\delta_k + 45 \times \left\lceil \frac{(L_i - A_i) + 59}{60} \right\rceil & (L_i - A_i) \leq 240min, k \in G_2 \\ 55 \times 2\delta_k + 90 & (L_i - A_i) > 240min, k \in G_1 \end{cases} \quad (3.9)$$

最小化停机位服务成本调度模型的约束条件与式(3.2)~式(3.7)一致。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/507143006110006131>