

## 前言

本技术规范代替并废止《机场时刻容量评估技术规范》AP-93-TM-2017-01。与旧规范相比，新规范主要变化如下：

——把“机场时刻容量”定义修订为“机场容量：根据航空器性能、机场和空管运行规则、限制因素和可接受延误水平、可接受放行正常率水平、可接受管制员工作负荷水平，确定的机场单位时间计划起降架次。机场容量评估结果应包括小时最大起降架次、小时最大起飞架次、小时最大降落架次，15分钟最大起降架次、15分钟最大起飞架次、15分钟最大降落架次。视情提供小时最大起飞架次对应的进港架次，以及小时最大降落架次对应的起飞架次。”（见 3.2 机场容量）

——把相应条款中的“机场时刻容量”修订为“机场容量”。

——“可接受延误水平”定义增加“且航班的每小时平均延误不超过 15 分钟。”（见 3.4 可接受延误水平）

——增加了“可接受放行正常率水平”定义。（见 3.7）

——把“典型繁忙日”修订为“统计三个月（含）以上历史执行的日航班量，从大到小排序，取 95%~90%分位数的对应日。”（见 3.8）

——把“基于计算机仿真模型的评估方法”仿真结果修订。（见 5.3.2.6）

——把“基于管制员工作负荷的评估方法”修订为“应采用模拟机练习管制工作负荷评估或管制录音管制工作负荷评估的方式”。（见 5.4.1）

——把“基于管制员工作负荷的评估方法”测试时间修订为“不少于 80 分钟，且高峰航班量应适当高于实际管制运行。”（见 5.4.2.2.3.3）

——把“基于历史统计数据的容量评估方法的输出内容”修订为“机场历史高峰服务架次（包括历史高峰起降架次、历史高峰起飞架次和历史高峰降落架次）”。（见 7.1.1.1）

——附录 A 中，增加“停机位允停机型”、“停机位分配规则”。

——附录 D 中，修订了部分理论计算公式。

——附录 E 中，删除“安检保障能力数学模型”和“候机厅容量理论评估方法及模型”部分。去掉相应公式中“高峰小时出港航班占比 65%”的计算内容。（见 E-2，E-4，E-5）

——附录 F 中，修订了计算仿真模型评估方法流程和内容。

——附录 G 中，把“行李认领区”修订为“行李提取区”，将“候机区仿真分析”修订为“登机口仿真分析”。

本技术规范由民航局空管办解释。

审查人员：陈向阳 邹国良 侯佳 耿稀 赵征 高伟 彭瑛 赵志刚 张旭婧 杨莫琳娜

# 目 录

1 总则 .....	1
2 评估目的及范围 .....	1
3 术语和定义 .....	1
3.1 跑道容量 .....	1
3.2 机场容量 .....	1
3.3 仿真延误时间 .....	2
3.4 可接受延误水平 .....	2
3.5 可接受管制员工作负荷水平 .....	2
3.6 放行正常率 .....	2
3.7 可接受放行正常率水平 .....	3
3.8 典型繁忙日 .....	3
3.9 航站楼理论容量 .....	3
4 评估工作程序 .....	3
5 评估技术方法 .....	3
5.1 基于历史统计数据的评估方法 .....	4
5.2 基于数学计算模型的评估方法 .....	4
5.3 基于计算机仿真模型的评估方法 .....	5

5.4 基于管制员工作负荷的评估方法.....	9
6 数据采集.....	12
7 输出内容.....	12
7.1 基于历史统计数据的容量评估方法的输出内容.....	12
7.2 基于数学计算模型评估方法的输出内容.....	12
7.3 基于计算机仿真模型评估方法的输出内容.....	13
7.4 基于管制员工作负荷评估方法的输出内容.....	13
7.5 机场容量的确定.....	13
8 评估报告规范.....	13
附录 A 机场容量评估关键参数表.....	14
附录 B 机场活动区/空域容量评估数据需求及确认表.....	18
附录 C 机场容量评估报告基本内容.....	22
附录 D 跑道容量数学模型.....	23
附录 E 航站楼容量评估数学模型.....	34
1 值机理论容量评估方法及模型.....	34
2 安检理论容量评估方法及模型.....	35
3 行李提取转盘理论容量评估方法及模型.....	36
附录 F 计算机仿真模型评估.....	38
1 确定评估场景.....	38
2 确定仿真参数.....	38

3 建立基准运行场景 .....	38
4 仿真模型基准校验 .....	40
5 建立特定运行场景模型 .....	41
6 仿真实施 .....	41
7 仿真结果与分析 .....	41
8 计算机仿真评估机场容量结果的确定 .....	42
附录 G 航站楼计算机仿真评估 .....	43
1 确定航站楼仿真场景 .....	43
2 确定仿真系统输入 .....	43
3 航站楼旅客流程仿真建模 .....	43
4 仿真系统校验 .....	45
5 仿真的实施与分析 .....	45
6 仿真系统调压分析 .....	46
7 仿真结果与建议 .....	47

# 机场容量评估技术规范

## 1 总则

为了规范机场容量评估技术方法和评估技术过程，根据《民用航空空中交通管理规则》，参考国际民航组织《协作性空中交通流量管理手册》制定本规范。

## 2 评估目的及范围

机场容量评估的目的是对机场容量进行客观、科学地评估，以此作为航班时刻管理、机场运行和空中交通管理的基本依据，并对机场运行优化措施提出合理化建议。

本规范适用于常态运行条件下的机场容量评估。机场容量评估范围包括：终端区/进近管制区和塔台管制区所包含的空域范围，以及机场活动区和航站楼的机场范围。

## 3 术语和定义

### 3.1 跑道容量

在连续服务请求且不违反空中交通管制规则的情况下，机场跑道在单位时间内能够服务的最大架次数。

### 3.2 机场容量

根据航空器性能、机场和空管运行规则、限制因素和可接受延误水平、可接受放行正常率水平、可接受管制员工作负荷水平，确定的机场单位时间计划起降架次。

机场容量评估结果应包括小时最大起降架次、小时最大起飞架次、小时最大降落架次，15 分钟最大起降架次、15 分钟最大起飞架次、15 分钟最大降落架次。视情提供小时最大起飞架次对应的进港架次，以及小时最大降落架次对应的起飞架次。

### 3.3 仿真延误时间

仿真系统输出的由于运行冲突、交通拥堵等造成的航班延误。仿真延误时间应包括仿真系统输出的跑道等待延误时间、滑行道延误时间、停机位延误时间以及空中延误时间等。

### 3.4 可接受延误水平

在机场容量评估中，在一定的服务标准和运行规则下，单位时间内某一航班量水平上航班的可接受平均延误时长。考虑我国机场的实际运行情况，可接受延误水平阈值为，航班的全天平均延误不超过 8 分钟，且航班的每小时平均延误不超过 15 分钟。

### 3.5 可接受管制员工作负荷水平

在一定的服务标准和运行规则下，管制员指挥航空器耗费的工作时长，管制员小时平均工作负荷应当小于其满负荷的 70%，且达到满负荷的 90% 以上的累积工作时间不超过每小时的 2.5%。

### 3.6 放行正常率

根据《民航航班正常统计办法》确定的机场放行正常率。

### 3.7 可接受放行正常率水平

基于计算机仿真模型方法中，在一定的服务标准和运行规则下，某一航班量水平上航班的可接受全天放行正常率。机场全天放行正常率水平不低于 80%。

### 3.8 典型繁忙日

统计三个月（含）以上历史执行的日航班量，从大到小排序，取 95%~90%分位数的对应日。

### 3.9 航站楼理论容量

参照民航相关规定，针对航站楼及航站楼内关键设施资源，通过建模计算，得出的单位时间内进出港航班架次。

## 4 评估工作程序

机场容量评估工作程序应按以下步骤进行：

4.1 确定评估方案

4.2 数据采集分析

4.3 建立评估模型

4.4 确定机场容量

4.5 提出相关建议

## 5 评估技术方法

容量评估方法应包含：基于历史统计数据的评估方法、基于数学计算模型的评估方法、基于计算机仿真模型的评估方法和基于管制员工作负荷的评估方法。

在进行机场容量评估时，各评估方法的使用应满足以下适用范围、方法及流程。

## 5.1 基于历史统计数据的评价方法

### 5.1.1 适用范围

基于历史统计数据的评价方法是依据机场单位时间（通常为 1 小时）内起降架次的历史数据评估机场历史运行高峰服务能力的方法。该方法通过反映起飞架次和降落架次相互作用的关系，得到机场历史高峰服务架次。适用于运行环境相对稳定的繁忙机场，且具有三个月（含）以上历史数据的评价对象。

### 5.1.2 评估方法及流程

#### 5.1.2.1 选择样本统计时长

根据容量评估及航班时刻制定需要，通常选取 1 小时作为样本统计时长。

#### 5.1.2.2 选择历史高峰服务架次包络线方法

根据所连接的高峰运行数据包络的样本数据占比确定。

#### 5.1.2.3 设置历史高峰服务架次生成参数

历史高峰服务架次包络线所包络的数据点在全样本数据中占比为 95%~98%。

#### 5.1.2.4 确定历史高峰服务架次

根据历史高峰服务架次包络线，确定其所包含的最大值样本点，得到历史高峰服务架次。

## 5.2 基于数学计算模型的评价方法

### 5.2.1 适用范围

基于数学计算模型的评价方法是根据跑道运行或航站楼

运行等因素，建立反映跑道或航站楼运行特征的数学模型，通过计算得到跑道容量或航站楼理论容量。该评估方法目前主要适用于跑道容量、航站楼理论容量的评估。

### 5.2.2 评估方法及流程

采用基于数学计算模型的评估方法分为数据处理、模型建立、模型检验、结果输出四个环节。

#### 5.2.2.1 数据处理

将采集来的数据分类统计，转换为模型所需的输入参数。

#### 5.2.2.2 模型建立

根据评估对象特征，对评估场景进行必要简化和假设，通过排队论、随机服务理论等，建立对象的时间队列模型。其中，各类跑道系统容量的数学模型见本技术规范的附录 D，航站楼内值机和安检环节的数学模型见本技术规范的附录 E。

#### 5.2.2.3 模型检验

检验模型的合理性和适用性。

#### 5.2.2.4 分析计算

分析计算单位时间内的跑道容量或航站楼理论容量。

## 5.3 基于计算机仿真模型的评估方法

### 5.3.1 适用范围

基于计算机仿真模型的评估方法（以下简称计算机仿真方法）是通过对评估对象的结构和整体运行过程进行计算机仿真模拟来评估容量的方法。该方法反映了影响容量的各种因素之

间的相互作用关系，直观且便于校核，适用于绝大多数评估对象的容量评估。

### 5.3.2 评估方法及流程

#### 5.3.2.1 确定评估场景

依据机场容量评估的基本条件，结合历史运行数据的分析确定机场容量评估的评估场景，评估场景分为基准运行场景和特定运行场景。

基准运行场景为在现有机场活动区和机场空域结构条件下，根据基本运行规则，不同跑道方向的机场空域、活动区和终端区运行场景，基准运行场景的建立可为仿真模型的基准检验提供支撑。

特定运行场景为在基准运行场景基础上，根据机场实际运行环境，增加限制约束条件生成的机场终端区运行场景。限制约束条件可包括：其他空域用户活动限制、飞越航班、外围关键点流量限制、除冰除雪、低云低能见度、航站楼可用资源归属化，以及未来半年内机场活动区或机场空域的结构、运行规则变更。

#### 5.3.2.2 确定仿真参数

根据采集的数据内容，确定计算机仿真所需参数值，并与机场及空管部门确认。

#### 5.3.2.3 建立基准运行场景

根据确定的仿真参数，选取典型繁忙日，建立机场基准运

行场景仿真模型。

#### 5.3.2.4 仿真模型基准校验

仿真模型必须经过基准合理性校核验证。由空管、机场、评估机构等相关部门对基准模型进行校验，将基准运行场景仿真与实际情况进行对比，检查建立的基准模型是否准确、客观地反映实际情况。

#### 5.3.2.5 仿真实施

基于仿真基准模型和特定运行场景，按照现有航班时刻的交通流时空分布，调整（增加或减少）航班量，输出不同运行场景下，每次航班量调整对应的机场流量分布、延误等仿真数据（每次输出数据为该航班量仿真 11 次按延误航班的平均延误顺序排列的第 6 名仿真结果，即输出序列中位数）。

#### 5.3.2.6 仿真结果

通过仿真数据分析，在满足“可接受延误水平”以及“可接受放行正常率水平”的条件下，取仿真输入航班计划中高峰时段（不小于三个时段）的小时航班量平均值，作为各场景的仿真容量。

根据各场景（包括不同运行方向、是否有其他空域用户活动影响等场景）所占比例，将各场景输出的容量值加权得到计算机仿真小时最大起降架次。

$$C_a = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} p_{ij}$$

$C_a$ : 小时最大起降架次;

$C_{ij}$ : 运行方向为  $i$  其他空域用户活动情况  $j$  场景的容量值;

$p_{ij}$ : 运行方向为  $i$  其他空域用户活动情况  $j$  场景所占比例;  
其中, 例如  $i = 1$  时, 表示向北 (东) 运行;  $i = 2$  时, 表示向南 (西) 运行, .....;  $j = 1$  时, 表示其他空域用户不活动;  $j = 2$  时, 表示其他空域用户活动, .....

不同运行方向比例根据全年运行情况确定。

其他空域用户活动情况比例考虑其他空域用户全年常态化活动影响时长占比, 具体方法示例如下:

$$P_1 = \frac{D_A}{365} * \frac{H_A}{H_R}$$

$$P_2 = 1 - P_1$$

$P_1$ : 其他空域用户活动占比;

$P_2$ : 其他空域用户不活动占比;

$D_A$ : 其他空域用户活动天数;

$H_R$ : 机场全天正常运行小时数 (一般不超过 18 小时);

$H_A$ : 机场正常运行小时数中的其他空域用户常态化活动小时数。

小时最大起降架次进行加权计算时, 可根据机场评估实际情况酌情考虑提供不同航季容量结论。

小时最大起飞架次: 取仿真小时时段航班计划起飞航班量的最大值;

小时最大降落架次：取仿真小时时段航班计划进场航班量的最大值；

15 分钟最大起降架次：取仿真 15 分钟时段航班计划起降航班量的最大值；

15 分钟最大起飞架次：取仿真 15 分钟时段航班计划起飞航班量的最大值；

15 分钟最大降落架次：取仿真 15 分钟时段航班计划降落航班量的最大值。

### 5.3.3 仿真项目实施与分析内容

机场终端区仿真评估以被评估机场终端区内航班运行全过程为对象，进行航班流的仿真与分析，具体见本技术规范的附录 F。

根据评估情况，酌情开展航站楼仿真评估。航站楼仿真评估以被评估机场航站楼内旅客服务全流程为对象，进行旅客流态的仿真与分析，具体见本技术规范的附录 G。

## 5.4 基于管制员工作负荷的评估方法

### 5.4.1 适用范围

基于管制员工作负荷的评估方法应采用模拟机练习管制工作负荷评估或管制录音工作负荷评估的方式。该评估方法应对不同运行场景及开放、合并后的扇区进行管制工作负荷验证工作。该方法适用于描述管制员工作负荷与航空器架次之间的相互作用关系。

### 5.4.2 评估要求

#### 5.4.2.1 管制录音要求

调取的扇区录音数据务必确保无电话语音或其他扇区的通讯干扰，并剔除奇异数据。

#### 5.4.2.2 模拟机要求

##### 5.4.2.2.1 模拟机设备要求

模拟机所采用的航空器类型、航空器性能和响应特性等参数应符合实际运行状况，模拟机界面和操作方法与实际基本一致，具备数据采集记录功能。

##### 5.4.2.2.2 模拟机人员要求

###### 5.4.2.2.2.1 管制员

参加模拟机测试的管制人员由管制单位指派，管制员应取得对应席位的管制资格，并代表管制单位平均业务水平。

###### 5.4.2.2.2.2 模拟机机长

模拟机机长应熟练掌握设备操作，熟悉评估空域和机型性能，掌握无线电通话用语。每个管制席位配备的模拟机机长数量应与测试流量相匹配。

##### 5.4.2.2.3 模拟机练习要求

###### 5.4.2.2.3.1 环境设置

应符合被评估对象的实际运行情况，主要包括进离场和飞越航班的比例，机型比例，以及进出各移交点流量的比例等因素。

###### 5.4.2.2.3.2 负荷级别设置

应根据评估对象分别设置 2 至 3 个等级测试练习，并视测试结果进行调整，以获得合理的负荷水平。

#### 5.4.2.2.3.3 测试时间

不少于 80 分钟，且高峰航班量应适当高于实际管制运行。

#### 5.4.2.2.3.4 航班计划

模拟测试飞行计划应能反映评估对象航班流特征，并确保在模拟测试的时间段内有充足的飞行流量。

#### 5.4.2.3 问卷填写要求

问卷填写人员应取得管制资格，且必须为该管制扇区工作的管制员或近期在该管制扇区工作过的管制员，填写人员能代表管制单位平均业务水平。

#### 5.4.3 评估方法及流程

通过对所选扇区空域结构、交通流特性进行分析，建立基于管制员工作负荷的扇区评估模型，并基于该模型进行扇区管制员工作负荷评估。

##### 5.4.3.1 分析扇区特性

对扇区的空域结构数据和运行状态基础数据进行分析，空域结构数据如航路结构及扇区进出点等数据，运行状态基础数据如航班流分布、比例等数据。

##### 5.4.3.2 采集航班流量数据

依据不同运行场景需要，获取相应场景的航班历史运行数据，对扇区流量进行分时段、分航段统计和分析。

#### 5.4.3.3 采集扇区内飞行管制工作负荷

采集与流量数据相匹配时段的飞行管制工作负荷。

#### 5.4.3.4 统计分析

对管制员工作负荷与航班流量进行分析，管制员工作负荷应满足可接受管制工作负荷水平。

#### 5.4.3.5 计算容量

根据可接受管制员工作负荷水平，计算出基于该模型的扇区容量值。

### 6 数据采集

数据采集内容应包括空中交通管制数据、机场基础设施及运行数据、飞行计划数据以及其它数据，数据采集具体内容见附录。

所采集的数据应能够反映评估对象在近期运行环境下的状况，详细程度应能够满足评估需要，能够全面反映评估对象的基本特征和运行规律。

### 7 输出内容

#### 7.1 基于历史统计数据的容量评估方法的输出内容

7.1.1 机场历史高峰服务架次（包括历史高峰起降架次、历史高峰起飞架次和历史高峰降落架次）。

#### 7.2 基于数学计算模型评估方法的输出内容

7.2.1 不同跑道运行模式下的跑道容量（包括跑道最大起飞架次、跑道最大降落架次、跑道最大起降架次）；

7.2.2 航站楼值机、安检等关键设施理论容量。

### 7.3 基于计算机仿真模型评估方法的输出内容

7.3.1 跑道起降架次统计；

7.3.2 不同评估场景下的日航班量与航班平均延误的分布；

7.3.3 不同评估场景下的机场放行正常率统计；

7.3.4 各评估场景综合分析容量值。

### 7.4 基于管制员工作负荷评估方法的输出内容

7.4.1 管制扇区交通流特征；

7.4.2 不同评估场景下的航班流量与管制工作负荷的关系；

7.4.3 不同评估场景下的扇区容量值。

### 7.5 机场容量的确定

以计算机仿真模型评估结果为基准，结合历史高峰服务架次评估、数学计算模型评估及管制员工作负荷评估结果，综合考虑机场终端区现有运行环境和运行瓶颈，按照制约因素的短板效应，最终确定机场容量。

## 8 评估报告规范

容量评估报告内容应包括评估背景、评估依据、评估环境、技术路线、采用的评估方法及主要过程、评估结论、相关建议和有关附件。

容量评估报告应明确说明评估方法中关键参数的设置，以便于对评估结果进行复核。

# 附录 A 机场容量评估关键参数表

表 A-1 容量评估参数标准

关键参数名称	定义	参考标准或获取方法
管制员平均工作负荷	熟练管制员完成单位小时内空中交通管制指挥活动所需要的听说、思考、操作的时间长度。	累加管制员通信时间、非通信时间和总思考时间之和，不超过单位时间 80%(如 1 小时不超过 48 分钟)，依据 ICAO Doc9426-PartII 附录 C。我国暂定管制员平均工作负荷不超过单位时间 70%(如 1 小时不超过 42 分钟)。
高峰时段管制员工作负荷	熟练管制员完成高峰时段内空中交通管制指挥活动所需要的听说、思考、操作的时间长度。	累加管制员通信时间、非通信时间和思考时间之和,超过单位时间片 90% (如 5 分钟超过 270 秒)的工作时长不超过采样总时间的 2.5%(如 12 小时不超过 18 分钟),依据 Doc9426-PartII 附录 C
雷达间隔标准	所有被雷达识别的航空器之间应配备的间隔	依据《民用航空空中交通管理规则》第六章(国务院中央军委, 2007)或当地使用的调配间隔参数
尾流间隔标准	为避免尾流影响而规定的航空器之间应配备的间隔。	依据《民用航空空中交通管理规则 (R5)》第六章管制间隔的方法和标准

关键参数名称	定义	参考标准或获取方法
		第五节 航空器尾流间隔标准, 2017) 或当地使用的调配间隔参数
进场跑道占用时间	进场航空器飞越跑道入口直至机尾完全脱离跑道的平均时间。	The time interval between the aircraft crossing the threshold and its tail vacating the runway. ( EUROCONTROL (2003) Enhancing Airside Capacity, the Complete Guide, Ed. 2.0 ) 空管单位提供统计数据, 如没有统计数据, 则由评估单位现场采集。
离港跑道占用时间	离港航空器由跑道外等待点穿越停止线开始至主起落架离地的平均时间。	The time interval between [the aircraft] crossing the stop bar at the holding point and the main gear lift-off from the runway. ( EUROCONTROL (2003) Enhancing Airside Capacity, the Complete Guide, Ed. 2.0 ) 空管单位提供统计数据, 如没有统计数据, 则由评估单位现场采集。
轻型/中型/重型机	按照航空器最大允许起飞全重和尾流影响确定的分类标准	依据《民用航空空中交通管理规则 (R5)》第六章

关键参数名称	定义	参考标准或获取方法
		管制间隔的方法和标准 第五节 航空器尾流间隔 标准，2017)
连续进近间隔	连续进近的两架航空器在前机飞越跑道入口时后机距离跑道的最短距离。	空管单位根据管制工作实际执行标准提供。如：塔台与进近协议，或塔台运行手册。
离场航空器放行间隔	连续起飞的两架航空器前、后机发出起飞许可的最短间隔时间。	空管单位根据管制工作实际执行标准提供。
移交间隔	管制扇区之间，同一移交点，使用指定高度移交航空器管制责任时，后机与前机之间须满足的最短水平距离。	以管制移交协议为准。
起降控制间隔	对已经进入跑道并完成对正的离港航空器发布起飞许可时，五边降落航空器距离跑道入口的最短距离。	空管单位根据管制工作实际执行标准提供。
停机位分配规则	机场机位分配规则，包括公司分配规则、国内国际停放规则等。	根据机场停机位实际使用情况确定，由机场单位提供。
机型比例	机场重、中、轻三种机型的平均比例	根据采集的历史飞行计划表中机型数据统计。
跑道使用方案	跑道的主用方向和跑道运行模式等	空管单位根据实际运行情况提供。
跑道端最大等待架次	允许在跑道端排队等待起飞的航空器最大数量	空管单位根据管制工作实际执行标准提供。
离场航班最大等待时间	当离场航班等待时间超过最大等待时间后，将获得离场优先权。	根据机场运行实际确定，若无法提高，一般设为15分钟。
管制员通信工作时	典型繁忙日，单位时间内，管制员和飞行	优先通过管制录音统计，

关键参数名称	定义	参考标准或获取方法
间	员语音通话时长	模拟机统计为备份方法。
管制员非通信工作 时间	典型繁忙日，单位时间内，管制员填写飞行进程单、雷达屏幕操作、管制协调所需时长	通过管制现场统计采集。
管制员思考工作 时间	典型繁忙日，扇区内各航段单架航空器平均指令数、不同繁忙等级时航段单条指令平均思考时间	通过问卷调查统计方式，结合经验累积确定。
历史放行正常率	机场的各月放行正常率，至少提供一年的历史统计数据。	机场根据历史数据统计提供。

表 A-2 航站楼理论容量评估参数（时间标准）

		国内	国际
安检	I 类机场经济舱	95% 旅客 ≤ 12 分钟	95% 旅客 ≤ 10 分钟
	II 类机场经济舱	95% 旅客 ≤ 10 分钟	95% 旅客 ≤ 8 分钟
	III 类机场经济舱	95% 旅客 ≤ 8 分钟	95% 旅客 ≤ 6 分钟
	IV 类机场经济舱	95% 旅客 ≤ 6 分钟	95% 旅客 ≤ 5 分钟
国内航班旅客办 票等候时间	头等舱和公务舱	95% 旅客 ≤ 5 分钟	95% 旅客 ≤ 4 分钟
	I 类机场经济舱	95% 旅客 ≤ 14 分钟	95% 旅客 ≤ 12 分钟
	II 类机场经济舱	95% 旅客 ≤ 12 分钟	95% 旅客 ≤ 10 分钟
	III 类机场经济舱	95% 旅客 ≤ 10 分钟	95% 旅客 ≤ 8 分钟
	IV 类机场经济舱	95% 旅客 ≤ 8 分钟	95% 旅客 ≤ 8 分钟
联检	海关	95% 旅客 ≤ 10 分钟	
	边防	95% 旅客 ≤ 15 分钟	
	检验检疫	95% 旅客 ≤ 5 分钟	

注：表 A-2 参考《中国民用运输机场服务质量标准（2013 版）》

## 附录 B 机场活动区/空域容量评估数据需求及确认表

表 B-1 空管部门提供及确认数据

序号	数据名称	说明	确认签字
1	航行资料汇编	空管保障设施、空域划分、飞行程序	
2	历史飞行计划表	冬春、夏秋季已执行的飞行计划。内容包括：航班号、注册号、机型，计划起降时间、实际起降时间、实际撤、挡轮挡时间	
3	与相邻管制部门的移交协议	进近与塔台、进近与区管、塔台与地面运控中心等	
4	扇区移交协议	如果分扇运行，机场内扇区移交协议	
5	关键点飞行速度和高度		
6	跑道运行模式及不同跑道业务量分担比例	多跑道机场常用的跑道运行模式，及不同运行场景下的跑道业务量分担比例	
7	各机型的跑道占用时间	包括各型航空器在跑道道面运行的平均占用时间，分起飞和落地	
8	飞行管制一号规定	航班与进出口点和航线对应的列表	
9	飞越航班对本场运行影响	含飞越航班占机场各进出口点的流量比例	
10	实时流量管理运行情况通报表	机场受外围流控时间段，流控策略，流控天数等	
11	历史（机场）放行正常率	上报民航局的机场历史放行正常率	
12	通用航空主要活动规律	包括各通用航空活动的频率，影响的航线、高度等	
13	周边军民航机场的	与本场的距离及方位	

序号	数据名称	说明	确认签字
	分布		
14	其他空域用户主要活动规律	包括各其他空域用户活动的频率，年活动天数，每天活动小时数及分布，分航季（冬春、夏秋）说明	
15	其他空域用户活动对民航指挥（本场管制）的影响	其他空域用户活动对本场航线、高度的影响以及产生冲突的航段及规避冲突的方法	
16	现行管制调配间隔	本场规定的进近管制间隔，包括五边间隔规定、前离后进航空器间隔规定、交叉和对头穿越间隔规定等。	
17	气象条件	常态出现的低云、低能见度等不利于飞行的气象条件。	
18	设备性能	通信、导航、监视设备性能	
19	滑行路径	不同场景下的航空器在场面滑行的滑行路径。 （注：机坪管理移交机场的由机场提供）	
20	地面滑行速度和间隔	（注：机坪管理移交机场的由机场提供）	
21	停机坪运行限制	包括航空器在机坪运行时的推出、滑行以及等待等相关要求。（注：机坪管理移交机场的由机场提供）	
22	放行限制	机场是否具备相关放行限制（例如同航线航空器放飞时间间隔等）	
23	管制录音	最近 1 个月管制员通话录音，每个需评估席位按每天 24 小时分别给出录音数据，以及该时段内扇区架次。	
24	其他特殊情况		

表 B-2 机场部门提供及确认数据

序号	数据名称	说明	确认签字
1	班期时刻表	冬春、夏秋季的班期时刻表	
2	历史飞行计划表	冬春、夏秋季已执行的飞行计划。内容包括：航班号、注册号、机型，计划起降时间、实际起降时间、实际撤、挡轮挡时间、登机门、行李转盘号、航班旅客数、可用座位数	
3	历史小时放行正常率	与历史飞行计划表提供时段对应的小时放行正常率	
4	机场总平面图	机场总平面的电子版 CAD 图，要求有详细的滑行道、停机位和跑道描述。	
5	停机位可停放机型	每个停机位可停放的机型限制	
6	停机位的分配规则	航空公司使用停机位的区域要求	
7	备降机位数量	备降航班使用的停机位数量	
8	航空器平均过站时间	各型航班的平均过站时间	
9	驻场航空公司机队情况	驻场航空公司机队数量、机型、过夜起飞数量	
10	其他特殊情况	包括除冰位、过夜机位、临时机位等使用条件	
11	航站楼 CAD 平面图 (电子版)	包括出发和到达层、国内与国际客运	
12	国内出港旅客量	日国内出港旅客量	
13	国内抵港旅客量	日国内抵港旅客量	
14	国际出港旅客量	日国际出港旅客量	
15	国际抵港旅客吞吐量	日国际抵港旅客量	
16	值机柜台数量	人工值机柜台数量、自助值机数量	

序号	数据名称	说明	确认签字
17	值机柜台分配	各航空公司或代理商值机柜台分配原则	
18	柜台开放时间	各航班或航空公司对应的值机柜台开放的数量及时间	
19	平均单位办票时间	国内、国际旅客平均人工值机时间	
20	值机比例	人工、自助值机柜台以及网上值机旅客比例	
21	国内安检通道属性及数量	国内安检通道数量、属性、普通通道数量	
22	安检通行能力	国内、国际平均安检时间	
23	边检通道属性及数量	国际边检通道数量普通旅客通道数量、VIP通道、团队通道	
24	国际边检通行能力	旅客平均边检时间、边检排队等候区面积	
25	行李转盘	转盘数量和指派原则；	
26	旅客申领行李比例	航班到达后，该航班上提取行李的旅客数量	
27	旅客申领行李时间	国内、国际航班旅客申领行李平均用时；旅客到达行李转盘平均用时；航班落地开舱到第一件行李到达转盘平均时间（分国际、国内）	

## 附录 C 机场容量评估报告基本内容

### 前言

#### 一、评估对象与模型

##### (一) 评估背景

(描述启动容量评估的背景、评估目标和项目执行过程等)。

##### (二) 评估依据

(说明容量评估依据的有关规章、规范、标准、相关协议、用户提供的技术资料及文件等)。

##### (三) 评估环境

(说明评估范围、运行环境等)。

##### (四) 评估技术路线

#### 二、基于历史统计数据的评价

#### 三、基于数学计算模型的评价

#### 四、基于计算机仿真模型的评价

#### 五、基于管制员工作负荷的评价

#### 六、容量评估综合结论

(列出各容量评估方法的结果,给出机场容量的评估结论)。

#### 七、建议

(提出机场运行的改进建议)。

### 附录

(与评估相关的技术资料,包括关键评估参数、航行资料等。)

## 附录 D 跑道容量数学模型

本规范列举几种常见的跑道容量数学计算模型作为参考。

跑道容量定义为单位时间内跑道能服务的最大航空器架次。跑道容量一般用对所有类型的航空器服务时间的加权平均值表示。而跑道对航空器服务时间的长短受到到达、起飞航空器间隔时间的影响，因此需要对起飞、到达航空器时间间隔进行分析。

$$C = \frac{1}{E[h]} \quad (D-1)$$

$$E[h] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} T_{ij} \quad (D-2)$$

式中各数学符号意义如下

$C$ : 跑道容量;

$E[h]$ : 跑道平均服务时间;

$p_{ij}$ :  $j$ 型航空器尾随 $i$ 型航空器的概率;

$T_{ij}$ : 当 $j$ 型航空器尾随 $i$ 型航空器时，它们之间的时间间隔;

### 1.单跑道容量计算

#### 1.1单跑道混合使用的进场容量计算

根据不同机型的最后进近速度不同，把相邻进场航空器（ $j$ 型航空器尾随 $i$ 型航空器）先后进场的情况分为以下两种，分别计算它们的时间间隔：

- ①  $V_i > V_j$ ，即前机速度大于后机速度；  
 ②  $V_i \leq V_j$ ，即前机速度小于等于后机速度；  
 当  $V_i > V_j$  时，两机间的时间间隔为：

$$T_{ij} = ROT_i + \gamma \left( \frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right) + \frac{\delta_{ij}}{v_j} \quad (D-3)$$

考虑到管制员与飞行员的反应时间，需要加入一个缓冲时间  $B_{ij}$ ，其计算公式为：

$$B_{ij} = \sigma_0 \Phi^{-1}(q_v) - \delta_{ij} \left( \frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right) \text{ 或 } B_{ij} = 0 \text{ (如果 } B_{ij} < 0 \text{)} \quad (D-4)$$

当  $V_i \leq V_j$  时，两机间的时间间隔

$$T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + ROT_j \quad (D-5)$$

$$B_{ij} = \sigma_0 \Phi^{-1}(q_v) \quad (D-6)$$

之后，对于  $p_{ij}$ ，统计机场各机型——轻型机、中型机、重型机所占比例，设值分别为  $a\%$ 、 $b\%$ 、 $c\%$ （ $a\%+b\%+c\%=100\%$ ）， $p_{ij}$  中前后机型  $i$ 、 $j$  分别对应机型所占比例为  $I\%$ 、 $J\%$ ，则  $p_{ij} = I\% \times J\%$ 。

将数值带入下式，

$$E[T_{ij} + B_{ij}] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} (T_{ij} + B_{ij}) \quad (D-7)$$

既得降落航空器时间间隔的加权平均值，所以

$$C_{arrivals} = \frac{1}{E[T_{ij} + B_{ij}]} \quad (D-8)$$

$C_{arrivals}$ ：跑道进场容量；

$V_i$ ：前机机型  $i$  的速度；

$V_j$ ：后机机型  $j$  的速度；

$ROT_i$ ：机型  $i$  的跑道平均占用时间；

$\delta_{ij}$ ：两架相邻进场航空器最小距离间隔；

- $\gamma$ : 最后进近定位点距跑道入口的距离;
- $B_{ij}$ : 缓冲时间;
- $T_{ij}$ : 相邻进场航空器机型  $j$  与机型  $i$  的时间间隔;
- $p_{ij}$ : 两架连续到达的航空器, 前机为  $i$ , 后机为  $j$  的比例;

### 1.2 单跑道混合使用的离场容量计算

机场实际运行中, 管制员根据进场航空器是否满足 DA 间隔决定是否对离场航空器发布起飞许可, 即进场航空器预计接地时刻与它前一架进场航空器接地时刻的时间差的大小决定是否允许当前申请起飞的航空器起飞。

当进场航空器满足 DA 间隔时, 管制员可根据这段时间间隔的大小, 适当的在其中插入  $n$  架起飞航空器。这段时间间隔 (两架相邻降落航空器间) 必须满足:

$$E(T_{ij} + B_{ij}) \geq \tau_{\min} + (n-1)E(TD_i) \quad (D-9)$$

式中  $\tau_{\min}$  为起飞/到达航空器的间隔规定。该间隔规定为即将到达的航空器与将要放飞航空器提供足够的间隔, 以保证他们间的空中间隔不会违反空管最小间隔规定。

即当  $j$  型航空器尾随  $i$  型航空器时, 两机间时间间隔满足上式, 可在其中插入  $n_{i-j}$  架起飞航空器。计算各种情况下相邻降落航空器对间可插入起飞航空器数量, 可得下表:

表 D-1 可插入起飞航空器数量

前机	后机	
	轻型机	中型机
轻型机	$n_{1-1}$	$n_{1-2}$
中型机	$n_{2-1}$	$n_{2-2}$

再分别乘上*j*型航空器尾随*i*型航空器的概率和单位小时内间隙数量，可计算出跑道起飞航空器容量，算式如下：

$$C_{departures} = TG \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}(n_{ij}) \quad (D-10)$$

$C_{departures}$ : 跑道离场容量；

$\tau_{min}$ : 到达/起飞航空器最小间隔；

$TD_i$ : 机型*i*的起飞跑道占用时间；

$n_{i-j}$ : 在相邻降落航空器*i*、*j*之间可插入的起飞航空器数量；

$TG$ : 单位小时内时间间隙数量；

## 2. 双跑道容量计算

### 2.1 近距平行跑道容量计算

近距平行跑道容量计算方法和过程与单跑道容量计算过程一致，区别为在进、离场航空器管制规则约束中，不用考虑进场航空器跑道占用时间对离场航空器进入跑道时刻的限制。

### 2.2 相关进近模式下双跑道容量计算

若1、2号平行跑道采用相关进近-独立离场运行模式时，则双跑道系统容量计算模型如下：

首先计算1号跑道的进、离场跑道容量，计算方法与第1节相同，设计算结果为： $C_1 = C_{arrivals} + C_{departures}$ 。

出于保证航行安全的需要，要求每架在跑道上降落的航空器都必须和相邻跑道上降落的其它航空器间保持一定间距，即平行跑道进近安全间隔（ $\delta_a$ ）。如下图所示。

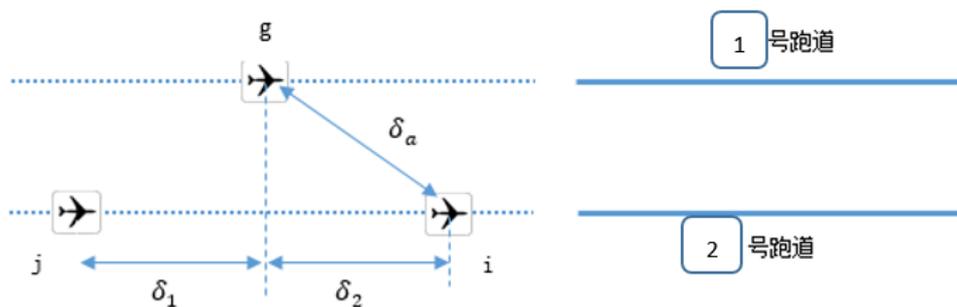


图 D-1 相关平行进近示意图

下面计算在平行跑道进近安全间隔下，2号跑道最小安全间隔。如图 D-1，假设有两架航空器 i、j 先后在 2 号跑道降落，与此同时，有航空器 g 在 1 号跑道降落，若 i、j 都和 g 保持相邻平行跑道进近安全间隔 ( $\delta_a$ ) 飞行，则此时 i、j 航空器的间隔为 2 号跑道进近最小安全间隔。由勾股定理易知，图中航空器 i 与航空器 j 之间的最小间隔为：

$$l_{min} = 2\sqrt{(\delta_a)^2 - D^2} \quad (D-11)$$

为方便计算，可将其化为时间参数，有

$$t_{min} = \frac{l_{min}}{\bar{v}} \quad (D-12)$$

管制员可采用插入法在航空器 i 与航空器 j 之间安排在相邻平行跑道上降落的航空器，要求航空器 i 与航空器 j 之间的时间间隔必须满足下式：

$$T_{ij} + B_{ij} \geq t_{min} \quad (D-13)$$

计算各种情况下相邻降落航空器对间于相邻平行跑道可插入降落航空器数量，可得下表：

表 D-2 相关进近 2 号跑道可插入降落航空器数量

	后机		
前机	轻型机	中型机	中型机

轻型机	$m_{1-1}$	$m_{1-2}$	$m_{3-1}$
中型机	$m_{2-1}$	$m_{2-2}$	$m_{3-2}$
重型机	$m_{3-1}$	$m_{3-2}$	$m_{3-3}$

将可插入航空器数量  $m$  再分别乘上  $j$  型航空器尾随  $i$  型航空器的概率和单位小时内间隙数量，可计算出在相关平行进近模式下 2 号跑道进场容量，算式如下：

$$C'_{arrivals} = TG \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}(m_{ij}) \quad (D-14)$$

接下来计算 2 号跑道离场容量，管制员对 2 号跑道上的离场航空器在进场航空器的时间间隙内发布起飞许可。考虑到进场航空器跑道占用时间，计算时间间隙算式如下：

$$E[T_{ij} + B_{ij}] \geq E\left(\frac{\delta}{V_j}\right) + E(ROT_i) + (n-1)E(\varepsilon_{ij}) + E(\tau) \quad (D-15)$$

计算各种情况下相邻降落航空器对间可插入起飞航空器数量，可得下表：

表 D-3 相关进近 2 号跑道可插入起飞航空器数量

	后机		
前机	轻型机	中型机	中型机
轻型机	$n'_{1-1}$	$n'_{1-2}$	$n'_{1-3}$
中型机	$n'_{2-1}$	$n'_{2-2}$	$n'_{2-3}$
重型机	$n'_{3-1}$	$n'_{3-2}$	$n'_{3-3}$

再分别乘上  $j$  型航空器尾随  $i$  型航空器的概率和单位小时内间隙数量，可计算出跑道离场容量，算式如下：

$$C'_{departures} = TG \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}(n_{ij}) \quad (D-16)$$

$C'_{departures}$ : 2 号跑道离场容量；

所以 2 号跑道的跑道容量为  $C_2 = C'_{arrivals} + C'_{departures}$ 。

则平行双跑道在采用相关进近-独立离场运行模式下，跑

道容量为： $C = C_1 + C_2$ 。

### 2.3 独立运行模式下双跑道容量计算

若 1、2 号平行跑道采用独立进场-独立离场运行模式时，则双跑道系统容量计算模型如下：

首先计算 1 号跑道的进、离场跑道容量，计算方法与第 1 节相同，设计算结果为： $C_1 = C_{arrivals} + C_{departures}$ 。

在独立进场-独立离场的运行模式下，1、2 号跑道间间距足以保证双跑道系统的安全起降，所以 2 号跑道起降架次与于 1 号跑道起降架次相同。

则平行双跑道在采用独立进近-独立离场运行模式下，跑道容量为： $C = 2C_1$ 。

### 3.三跑道容量计算

将三条跑道依次编号为 1、2、3 号，首先按第 2 节所示的计算方法计算 1、2 号平行双跑道容量。然后根据 3 号跑道采用的运行模式计算 3 号跑道的容量。

#### 3.1 相关进近模式下 3 号跑道容量计算

若 3 号跑道与 1、2 号双窄距平行跑道采用相关进近-独立离场运行模式时，3 号跑道的容量计算模型如下：

出于保证航行安全的需要，要求每架在 3 号跑道降落的航空器都必须和相邻跑道上降落的其它航空器间保持一定间距，即相邻平行跑道进近安全间隔 ( $\delta_a$ )。如下图所示。

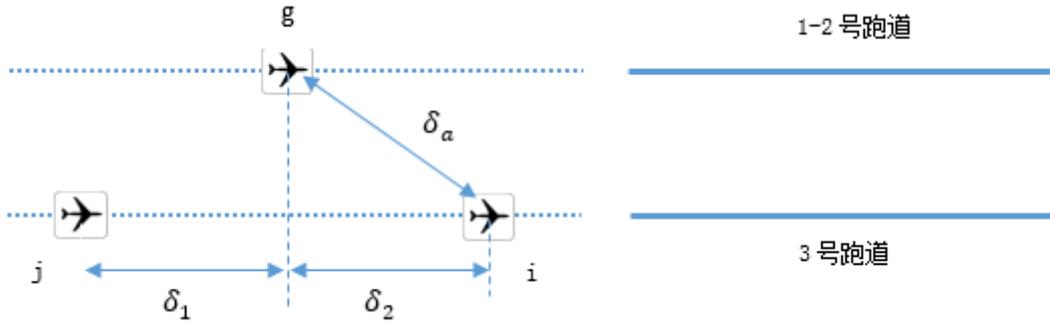


图 D-2 相关平行进近示意图

下面计算在相邻平行进近安全间隔下 3 号跑道最小安全间距。如图 D-2，假设有两架航空器 i、j 先后在 3 号跑道降落，与此同时，有航空器 g 在 1 号跑道降落，若 i、j 都和 g 保持相邻平行进近安全间隔 ( $\delta_a$ ) 飞行，则此时 i、j 航空器的间隔为 3 号跑道进近最小安全间隔。由勾股定理易知，图中航空器 i 与航空器 j 之间的最小间距为：

$$l_{min} = 2\sqrt{(\delta_a)^2 - D^2} \quad (D-5)$$

为方便计算，可将其化为时间参数，有

$$t_{min} = \frac{l_{min}}{\bar{v}} \quad (D-6)$$

管制员可采用插入法在航空器 i 与航空器 j 之间安排在相邻平行跑道上降落的航空器，要求航空器 i 与航空器 j 之间的时间间隔必须满足下式：

$$T_{ij} + B_{ij} \geq t_{min} \quad (D-7)$$

计算各种情况下相邻降落航空器对间于相邻平行跑道可插入降落航空器数量，可得下表：

表 D-4 相关进近 3 号跑道可插入降落航空器数量

	后机		
前机	轻型机	中型机	中型机

轻型机	$m_{1-1}$	$m_{1-2}$	$m_{3-1}$
中型机	$m_{2-1}$	$m_{2-2}$	$m_{3-2}$
重型机	$m_{3-1}$	$m_{3-2}$	$m_{3-3}$

将可插入航空器数量  $m$  再分别乘上  $j$  型航空器尾随  $i$  型航空器的概率和单位小时内间隙数量，可计算出在相关平行进近模式下相邻平行跑道进场容量，算式如下：

$$C'_{arrivals} = TG \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}(m_{ij}) \quad (D-20)$$

由于将 3 号跑道视为单跑道，所以在计算时间间隙时要考虑跑道占用时间：

$$E[T_{ij} + B_{ij}] \geq E\left(\frac{\delta}{V_j}\right) + E(ROT_i) + (n-1)E(\varepsilon_{ij}) + E(\tau) \quad (D-21)$$

后续算法 3 号跑道离场容量计算方法与 2.2 中类似，计算各种情况下相邻降落航空器对间可插入起飞航空器数量，可得下表：

表 D-5 相关进近 3 号跑道可插入起飞航空器数量

	后机		
前机	轻型机	中型机	中型机
轻型机	$n'_{1-1}$	$n'_{1-2}$	$n'_{1-3}$
中型机	$n'_{2-1}$	$n'_{2-2}$	$n'_{2-3}$
重型机	$n'_{3-1}$	$n'_{3-2}$	$n'_{3-3}$

再分别乘上  $j$  型航空器尾随  $i$  型航空器的概率和单位小时内间隙数量，可计算出跑道起飞航空器容量，算式如下：

$$C'_{departures} = TG \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}(n_{ij}) \quad (D-22)$$

$C'_{departures}$ : 3 号跑道离场容量

### 3.2 独立进近模式下 3 号跑道容量计算

当 3 号跑道与 1、2 号双窄距平行跑道采用独立进近-独

立离场运行模式时，3跑道的容量计算模型如下。

首先对起飞、到达航空器时间间隔进行分析，同样把相邻进场航空器（ $j$ 型航空器尾随 $i$ 型航空器）先后进近的情况分为以下两种，分别计算它们的时间间隔：

①  $V_i > V_j$ ，即前机速度大于后机速度；

②  $V_i \leq V_j$ ，即前机速度小于等于后机速度；

当  $V_i > V_j$  时，两机间的时间间隔和缓冲时间  $B_{ij}$  的计算公式为：

$$T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \gamma \left( \frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right) + ROT_i \quad (D-23)$$

$$B_{ij} = \sigma_0 \Phi^{-1}(q_v) - \delta_{ij} \left( \frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right) \text{ 或 } B_{ij} = 0 \text{ (如果 } B_{ij} < 0 \text{)} \quad (D-24)$$

当  $V_i \leq V_j$  时，两机间的时间间隔和缓冲时间  $B_{ij}$  的计算公式为：

$$T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + ROT_j \quad (D-25)$$

$$B_{ij} = \sigma_0 \Phi^{-1}(q_v) \quad (D-26)$$

根据机场不同机型比例数据，计算跑道对进场航空器的加权平均服务时间，如

$$E[T_{ij} + B_{ij}] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} (T_{ij} + B_{ij}) \quad (D-27)$$

既得降落航空器时间间隔的加权平均值，所以

$$C_{arrivals} = \frac{1}{E[T_{ij} + B_{ij}]} \quad (D-28)$$

$V_i$ : 前机机型  $i$  的速度；

$V_j$ : 后机机型  $j$  的速度；

$\delta_{ij}$ : 两架相邻进场航空器最小距离间隔；

$\gamma$ : 最后进近定位点距跑道入口的距离;

$B_{ij}$ : 缓冲时间;

$T_{ij}$ : 相邻进场航空器机型  $j$  与机型  $i$  的时间间隔;

$p_{ij}$ : 两架连续到达的航空器, 前机为  $i$ , 后机为  $j$  的比例;

离场容量的计算同样要求: 在两架相邻降落航空器间插入起飞航空器, 这段时间间隔必须满足:

$$E[T_{ij} + B_{ij}] \geq E\left(\frac{\delta}{V_j}\right) + E(ROT_i) + (n-1)E(\varepsilon_{ij}) + E(\tau) \quad (D-29)$$

即当  $j$  型航空器尾随  $i$  型航空器时, 两机间时间间隔满足上式, 可在其中插入  $n_{i-j}$  架起飞航空器。可插入起飞航空器的数量与表 D-3 相同。再分别乘上  $j$  型航空器尾随  $i$  型航空器的概率和单位小时内间隙数量, 可计算出跑道起飞航空器容量, 算式如下:

$$C_{departures} = TG \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}(n_{ij}) \quad (D-30)$$

$\delta$ : 到达/起飞航空器最小间隔;

$ROT_i$ : 机型  $i$  的平均跑道占用时间;

$\varepsilon_{ij}$ : 相邻起飞航空器间时间间隔规定;

$\tau$ : 时间延迟;

$n_{i-j}$ : 在相邻降落航空器  $i$ 、 $j$  之间可插入的起飞航空器数量;

$TG$ : 单位小时内时间间隙数量;

## 附录 E 航站楼容量评估数学模型

### 1 值机理论容量评估方法及模型

值机理论容量与旅客到达人数关系密切，到达值机大厅的旅客与航班时刻表、航班旅客数有关。任意时刻的旅客到达数是各航班该时刻旅客到达数的总和。考虑到旅客到达服从参数  $\lambda$  ( $\lambda > 0$ ) 的 Poisson 流分布，即相继到达的间隔时间序列  $\{\tau_n, n \geq 1\}$  独立、服从相同参数  $\lambda$  的负指数分布  $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, t \geq 0$ ；旅客所需的服务时间序列  $\{\chi_n, n \geq 1\}$  独立、服从相同参数  $\mu$  ( $\mu > 0$ ) 的负指数分布  $G(t) = 1 - e^{-\mu t}, t \geq 0$ ；系统中有  $k$  个值机柜台独立并行服务，每个值机柜台视为一个独立的  $M/M/1/\infty$  排队系统，各值机柜台前的旅客相继到达间隔时间和服务时间是相互独立的。通过计算单位时间值机系统可以服务的人数，结合航空器平均载客量，可以得到值机系统约束下的容量。

根据《民用运输机场服务质量》标准，限制值机系统服务能力，并根据该数据对容量计算值进行筛选。

根据  $M/M/1/\infty$  排队系统公式，如果旅客到达率为  $\lambda$  人/分钟，每值机柜台平均服务率为  $\mu_i$  人/分钟，开放值机柜台数是  $k_a$ ，则单位时间值机系统的最大容量，即等于单位时间值机系统服务的最大旅客人数，如下所示：

$$C_{\text{值机}} = \sum_{a=1}^2 k_a \left( \mu_i - \frac{1}{W_a} \right) \quad (\text{E-1})$$

$C_{\text{值机}}$ ：单位时间值机系统的最大容量，即单位时间值机

系统服务的最大离场旅客人数;

$k_a$ : 开放值机柜台数, 当  $a=1$  时, 表示人工值机柜台数; 当  $a=2$  时, 表示自助值机柜台数;

$\mu_i$ : 表示柜台平均服务率, 当  $i=1$ , 表示人工值机柜台平均服务率; 当  $i=2$ , 表示自助值机柜台平均服务率;

$W_a$ : 95%旅客的最大等候值机时间, 通常依据《民用运输机场服务质量》标准;

根据单位时间值机系统的最大容量  $C_{\text{值机}}$ 、航班平均座位数  $S$  和航班平均上座率  $r$  可以得出单位时间最大离场航班架次数  $N$  公式如下所示:

$$N = \frac{C_{\text{值机}}}{S \times r} \quad (\text{E-2})$$

## 2 安检理论容量评估方法及模型

安检理论容量与旅客到达人数关系密切。在安检区域, 旅客到达为参数  $\lambda$  ( $\lambda > 0$ ) 的 Poisson 流分布, 即相继到达的间隔时间序列  $\{\tau_n, n \geq 1\}$  独立、服从相同参数  $\lambda$  的负指数分布  $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, t \geq 0$ ; 旅客所需的服务时间序列  $\{x_n, n \geq 1\}$  独立、服从相同参数  $\mu$  ( $\mu > 0$ ) 的负指数分布  $G(t) = 1 - e^{-\mu t}, t \geq 0$ ; 系统中有  $k$  个安检通道独立地并行服务, 每个安检通道视为一个独立的  $M/M/1/\infty$  排队系统。通过计算单位时间安检系统可以服务的人数, 结合航空器平均载客量, 可以得到安检系统约束下的容量。

根据《民用运输机场服务质量》标准, 限制安检系统服务能力, 并根据该数据对容量计算值进行筛选。

根据  $M/M/1/\infty$  排队系统公式, 如果旅客到达率为  $\lambda$  人/

分钟，每通道安检服务率为 $\mu_j$ 人/分钟，开放安检通道数是 $k_b$ ，则单位时间安检系统的最大容量，即等于单位时间安检系统服务的最大旅客人数，如下所示：

$$C_{\text{安检}} = \sum_{b=1}^2 k_b \left( \sum_{j=1}^2 \rho_j \mu_j - \frac{1}{W_b} \right) \quad (\text{E-3})$$

$C_{\text{安检}}$ ：单位时间安检系统的最大容量，即单位时间安检系统服务的最大离场旅客人数；

$k_b$ ：开放安检通道数，当 $b=1$ 时，表示普通安检通道数；当 $b=2$ 时，表示VIP安检通道数；

$\rho_j$ ：表示选择安检通道类型的旅客比例，当 $j=1$ ，表示选择普通安检通道的旅客比例；当 $j=2$ ，表示选择VIP安检通道的旅客比例；

$\mu_j$ ：表示安检通道平均服务率，当 $j=1$ ，表示普通安检通道平均服务率；当 $j=2$ ，表示VIP安检通道平均服务率；

$W_b$ ：95%旅客的最大等候安检时间，通常依据《民用运输机场服务质量》标准；

根据单位时间安检系统的最大容量 $C_{\text{安检}}$ 、航班平均座位数 $S$ 和航班平均上座率 $r$ 可以得出单位时间最大航班架次数 $N$ 公式如下所示：

$$N = \frac{C_{\text{登机}}}{S \times r} \quad (\text{E-4})$$

### 3 行李提取转盘理论容量评估方法及模型

行李提取转盘容量与到达旅客所携带的行李关系密切。行李到达与航班时刻表、航班旅客数有关。任意时刻的行李到达数是各航班该时刻行李到达数的总和。各航班行李到达

和服务是相互独立的。通过结合行李提取转盘系统的服务时间、航班平均载客量、开放行李转盘数，可以得到行李提取转盘系统约束下的容量。

根据《民用运输机场服务质量》标准，限制行李提取转盘系统服务能力，并根据该数据对容量计算值进行筛选。

根据动态系统公式，从挡轮挡到第一件行李出现在行李转盘上的时间 $T_{ij}$ ，从第一件行李出现在行李转盘上到全部被取走的时间 $T$ ，开放行李提取转盘的数量 $k$ ，则单位时间行李提取转盘系统的最大容量，即等于单位时间行李提取转盘系统服务的高峰小时进场航班架次，如下所示：

$$N = k \left( \frac{1}{\sum_{j=1}^m p_j \sum_{i=1}^2 p_i T_{ij} + \alpha T} \right) \quad (E-5)$$

$N$ ：单位时间行李提取转盘系统的最大进场容量，即单位时间行李提取转盘系统服务的高峰小时进场航班架次；

$k$ ：开放行李提取转盘的数量；

$p_j$ ：机型比例， $j=1,2,\dots,m$ ，通常 $m \leq 6$ ；

$p_i$ ：航空器选择停靠在机位位置的比例，当 $i=1$ 时，表示航空器停靠近机位，当 $i=2$ 时，表示航空器停靠远机位；

$T_{ij}$ ：表示 $j$ 机型的航空器停靠 $i$ 类型机位时，从挡轮挡到第一件行李出现在转盘上的时间；

$\alpha$ ：行李在规定时间内全部被取走的概率，通常取值99%；

$T$ ：从第一件行李出现在行李转盘上到全部被取走的时间。

## 附录 F 计算机仿真模型评估

本附件对计算机仿真模型评估中的关键流程、方法和分析内容进行详细阐述，以此作为机场容量评估中计算机仿真评估的基本依据。

### 1 确定评估场景

依据机场容量评估的基本条件，结合历史运行数据的分析确定机场容量评估的评估场景。评估场景分为基准运行场景和特定运行场景。

### 2 确定仿真参数

表 F-1 仿真系统的输入建议参数

输入项
机场活动区平面图
相关机场
相关航空公司
航空器类型
跑道运行模式
机位分配规则（含备降机位）
航空器滑行路径、速度和尾流间隔
空中节点信息
进离场程序
管制间隔
放行限制
移交协议
典型繁忙日航班计划

### 3 建立基准运行场景

#### 3.1 建立机场活动区仿真模型

构建机场活动区静态模型，包括构建跑道、滑行道、停机位等静态结构，以及对象属性指标。

在机场活动区静态模型的基础上建立机场活动区运行

规则，包括跑道相关规则（跑道运行模式、跑道业务量分担比例、跑道入口出口使用规则、跑道端最大等待架次等）、滑行道使用规则（不同运行方向滑行路线与滑行规则、滑行道使用限制、地面滑行速度等）、停机位使用规则（停机位分配规则等）、以及其他地面运行规则。

### 3.2 建立空域终端（进近）管制区仿真模型

构建空域终端（进近）管制区静态模型，包括构建航路点、班机走向、终端管制扇区、进离场飞行程序、空中等待区域、进近机动区等静态结构。

在空域终端（进近）管制区静态模型的基础上建立空域运行规则，包括进近管制区移交规则、雷达间隔标准、高度层使用设置、飞行程序使用策略、流量分配规则等。

### 3.3 其他关键参数设置

根据获取的参数情况，设置间隔参数（包括离场航空器放行间隔、连续进近间隔、起降控制间隔、以及多跑道使用间隔等）、以及其他相关运行规则。

### 3.4 导入航班计划

导入典型繁忙日全天航班计划，至少需要包括航班号、机号、机型、计划起飞/降落时间、航班计划起飞/降落机场等信息。

### 3.5 模型调试

通过上述基准运行场景建模过程，初步运行机场终端（进近）管制区基准运行场景模型，通过模型的反复运行与调试，确保建模过程完整参数设置正确，且能够正常运行符

合实际。

#### 4 仿真模型基准校验

根据基准运行场景调试仿真得出的输出文件，文件记录包括航班的相关信息，包括起降时间、滑行路径、延误时间等，进而统计仿真航班时空分布情况，同时还可根据仿真可视化界面，观察仿真冲突情况，与实际历史数据统计作比较。

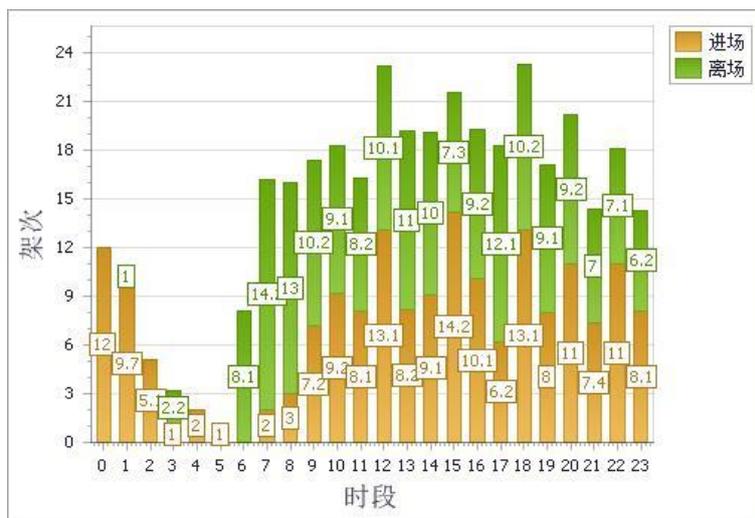


图 F-1 典型航班日仿真航班流时段分布图

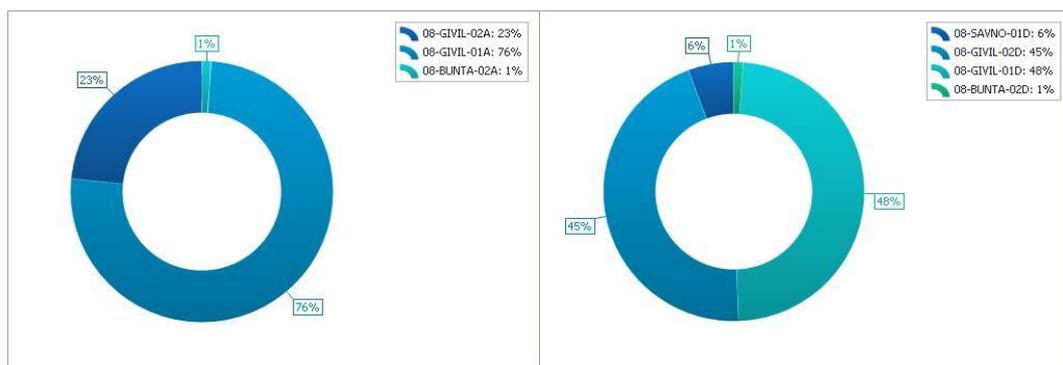


图 F-2 典型航班日进离场航班走向分布图

以某机场典型航班日的航空器实际运行时刻为实验对象，对基准场景进行仿真，在保证模型通畅无堵塞的情况下，得出典型航班日仿真流时段分布及进离场走向分布。并将得

出的仿真航空器流量分布与该机场实际运行航班流量分布作对比，调整模型参数，保证模型的准确性。

## 5 建立特定运行场景模型

在已完成校验基准运行场景模型的基础上，根据特定运行场景特点，调整静态模型、运行规则或其他关键参数设置，经过模型运行调试，形成特定运行场景仿真模型。

## 6 仿真实施

基于仿真基准模型和特定运行场景，按照现有航班时刻的交通流时空分布，调整（增加或减少）航班量，输出不同运行场景下，每次航班量调整对应的机场流量分布、延误等仿真数据（每次输出数据为该航班量仿真 11 次按延误航班的平均延误顺序排列的第 6 名仿真结果，即输出序列中位数）。

## 7 仿真结果与分析

对已建好的不同运行场景进行仿真，得出容量评估结果，并对仿真输出进行分析，主要应包括：

### 7.1 增量（或减量）航班计划分布

依据典型繁忙日航班计划，对航班计划进行调整（增加或减少）处理，得到全天各个时段进离场航班计划架次分布。

### 7.2 航班流量分布

开展各场景的调整航班量的仿真模拟，输出全天各个时段仿真进离场架次流量分布。

### 7.3 机场仿真延误时间

以机场典型繁忙日增量（或减量）的航班计划为对象，

对已建好的模型进行仿真，在保证模型通畅无堵塞的情况下，得出典型繁忙日流量分布，从而得出全天各个时段进离场延误时间。

#### 7.4 滑行时间

以某机场典型航班日的航班实际运行时刻为对象，对已建好的模型进行仿真，在保证模型通畅无堵塞的情况下，得出典型区域的平均滑入或滑出时间。

#### 7.5 机场全天放行正常率统计

输出各场景的全天放行正常率统计。

#### 7.6 各场景机场容量结果

输出各场景满足“可接受延误水平”和“可接受放行正常率水平”的计算机仿真容量结果，包括小时最大起降架次、小时最大起飞架次、小时最大降落架次、15分钟最大起降架次、15分钟最大起飞架次、15分钟最大降落架次。

### 8 计算机仿真评估机场容量结果的确定

根据各场景容量结果，综合得到计算机仿真机场容量结果。

## 附录 G 航站楼计算机仿真评估

### 1 确定航站楼仿真场景

仿真评估目的是检验典型繁忙航班计划日航站楼服务质量达标的状况；测试关键设施持续性服务能力对整个流程服务质量的影响；检验机场航班增量后，航站楼服务能否满足质量要求。航站楼中的关键资源均列入仿真评估对象，主线业务包括国际/国内旅客的出发/到达流程；分支业务单元包括值机、安检、边检、候机、行李提取区等。

### 2 确定仿真系统输入

表 G-1 为仿真系统输入建议参数。

表 G-1 仿真系统的输入建议参数

输入项
航站楼平面图
值机柜台分配计划
行李转盘的分配计划
安检与边检普通通道数量
旅客行走速度
典型繁忙日进/出港航班计划
典型繁忙日进港航班行李转盘指派计划
进/出港客机航班架次
典型繁忙日进/出港、国际/国内旅客总数，各航班客座率
人工/自助值机旅客服务率和旅客使用
出港航班旅客到达值机柜台的分布
国内/国际值机平均服务率和方差
国内/国际安检柜台数量/平均服务率和方差
进/出港边检柜台数量/平均服务率和方差
登机口平均服务率和方差

### 3 航站楼旅客流程仿真建模

#### 3.1 业务逻辑结构模型

##### 3.1.1 主业务逻辑结构模型

旅客进出港流程中国内主要业务逻辑涉及值机、安检、候机、登机；下航空器、提取行李、出候机楼；国际主要业务逻辑涉及值机、检验检疫、海关、边检、安检、候机、登机；下航空器、边检、提取行李、海关、检验检疫、出候机楼。其中检验检疫和海关业务为抽样检查模式，因此，在计算机仿真中可以不纳入仿真范围。国内、国际进出港的主要流程简化为图 G-1 和 G-2 以及图 G-3 和 G-4 逻辑结构。

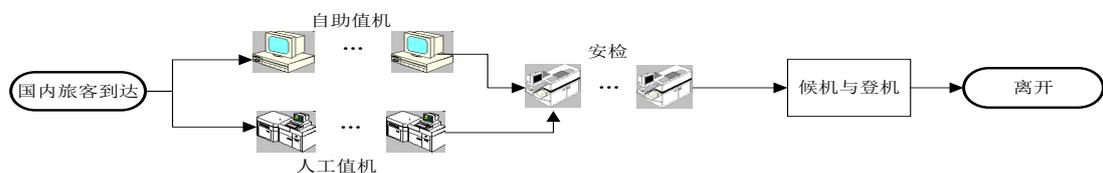


图 G-1 国内离港旅客业务流程逻辑图



图 G-2 国际离港旅客业务流程逻辑图

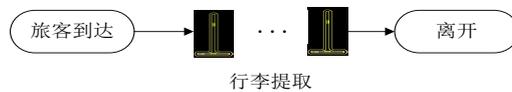


图 G-3 国内进港旅客业务流程逻辑图

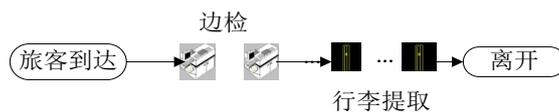


图 G-4 国际进港旅客业务流程逻辑图

### 3.1.2 各分支业务逻辑结构模型

人工值机逻辑模型可采用图 G-5 结构单元和逻辑进行设计。图 G-6~G-9 分别表示边检、安检、登机口和行李提取业务逻辑模型。



图 G-5 人工值机逻辑模型



图 G-6 边检业务逻辑模型



图 G-7 安检业务逻辑模型

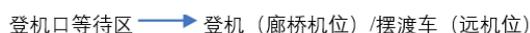


图 G-8 登机口业务逻辑模型



图 G-9 提取行李业务逻辑模型

## 3.2 仿真系统选择

仿真环境应选择能够仿真随机事件的系统软件。

## 4 仿真系统校验

仿真系统须经过典型繁忙日总人数、航班人数、旅客个体行走路线、航班指派的登机门或行李转盘等的符合性校验。通过调整离散度得到仿真旅客人数的基本一致。

## 5 仿真的实施与分析

### 5.1 国际/国内进出港旅客到达分布输出分析

仿真系统输出航站楼旅客到达分布信息能够获得全天航站楼旅客流态，得到全天的峰谷数据。按独立流程应该分为国内出发、国际出发、国内到达、国际到达。

### 5.2 国际/国内值机区仿真分析

输出各航空公司值机区旅客排队人数分布和排队时间分布，对比民航局民用机场服务标准，得出在典型繁忙日旅客流态下，航站楼值机区服务质量达标与否的结论。

### 5.3 国际/国内安检区仿真分析

输出各安检区旅客排队人数分布和排队时间分布，对比民航局民用机场服务标准，得出在典型繁忙日旅客流态下，

航站楼国际/国内安检服务质量达标与否的结论。

#### 5.4 出发/到达边检区仿真分析

输出各出发/到达边检区旅客排队人数分布和排队时间分布，对比民航局民用机场服务标准，得出在典型繁忙日旅客流态下，航站楼国际边检服务质量达标与否的结论。

#### 5.5 登机口仿真分析

输出各桥位和远机位登机口全天各时段使用量分布，对比国内/国际登机口可用数量与最大需求量比例，得出在典型繁忙日旅客流态下，国内/国际登机口满足国内/国际航班保障需求与否的结论。

#### 5.6 国际/国内到达仿真分析

输出各行李提取转盘区旅客人数分布，计算出各认领区最大等候旅客人数与周围面积比例（人均最小面积），参照民航局民用机场服务标准，得出在典型繁忙日旅客流态下，各行李提取区旅客服务质量达标与否的结论。

如果上述各分支流程出现服务质量达不到标准的情况，说明该流程的设备设施不能满足典型繁忙日旅客流态下的服务质量，出现资源短缺情况。

### 6 仿真系统调压分析

在上述各分支流程服务质量达标的基础上，通过提升客座率和仿真空侧增、减量计划，获得航站楼资源是否满足航班量调整要求的结论。

保持仿真系统其它参数不变，将典型繁忙日航班计划变更为增量计划，重复 3，检验流程中各业务区服务质量。

## 7 仿真结果与建议

总结分析上述 3 与 4，说明评估对象在典型繁忙日航班平均客座率以及增加航班量两种不同条件下，航站楼旅客服务达到公布服务标准的状况，并提出改进建议。