第 41 卷 第 5 期
2022 年 9 月

应用声学
Journal of Applied Acoustics

Vol. 41, No. 5
September, 2022

◇ 研究报告 ◇

考虑噪声烦恼度的机场飞机噪声收费模型和应用研究

王 维† 刘鑫邦

(中国民航大学交通科学与工程学院 天津 300300)

摘要: 随着我国民航运输业的飞速发展,机场噪声影响问题日趋严重。通过向航空公司或旅客收取噪声费来进行治理,是民航发达国家的普遍做法,也是我国未来的发展方向。该文在国外机场飞机噪声收费模型的基础上,提出了基于飞机噪声特性、噪声烦恼度、噪声治理投入费用和资金回收周期等因素的机场噪声收费模型。模型将机场噪声治理费用通过合理的回收周期按一定比例分配到各年度,再根据飞机噪声特性、噪声烦恼度将每年噪声收费分配到每架次飞机(或每位旅客)。飞机噪声特性根据 ACI 的机场噪声分级 R1 ~ R8 来确定,噪声烦恼度借助 Mamdani 模型构建。应用表明,该收费模型关键因素考虑全面,计算方法先进简洁,费率合理。对于噪声较高飞机,夜间起飞收费为 1219.06 元/架次,客均收费 10.16 元;对于噪声很低的飞机,昼间着陆收费为 66.10 元/架次,客均收费仅 0.15 元。费率确定符合国际民航组织倡导的以支定收原则,有助于形成航空公司/旅客减噪激励机制同时又不致抑制机场航空业务增长。

关键词: 机场噪声;噪声烦恼度;收费模型;ACI 飞机噪声分类

中图法分类号: X593 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-310X(2022)05-0794-08

DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2022.05.014

Research on the methodology of aircraft noise charging for airports considering noise annoyance

WANG Wei LIU Xinbang

(*School of transportation science and Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin* 300300, *China*)

Abstract: With the rapid development of China's civil aviation transportation industry, the impact of airport noise is becoming more and more serious. It is a common practice in civil aviation developed countries to collect noise fees from airlines or passengers, and it is also the future development direction of our country. Based on foreign airport noise charging models, this paper puts forward an airport noise charging model based on aircraft noise characteristics, noise annoyance, noise control investment cost and capital recovery cycle. The model allocates the airport noise control cost to each year according to a certain proportion through a reasonable recovery cycle, and then allocates the annual noise charge to each aircraft (or each passenger) according to the aircraft noise characteristics and noise annoyance. The aircraft noise characteristics are determined according to the airport noise classification R1–R8 of ACI, and the noise annoyance is constructed with the help of Mamdani model. The application shows that the key factors of the charging model are considered comprehensively, the calculation method is advanced and concise, and the rate is reasonable.

2021-08-24 收稿; 2021-10-11 定稿

作者简介: 王维 (1960–), 河北唐山人, 硕士, 教授, 研究方向: 机场环境保护。

† 通信作者 E-mail: 854973011@qq.com

For aircraft with high noise, the charge for taking off at night is 1219.06 yuan/Sorty, and the average passenger charge is 10.16 yuan; For aircraft with very low noise, the charge for daytime landing is 66.10 yuan/Sorty, and the average passenger charge is only 0.15 yuan. The determination of the rate is in line with the principle of fixed revenue based on expenditure advocated by ICAO, which helps to form an airline/passenger noise reduction incentive mechanism without inhibiting the growth of airport aviation business.

Keywords: Airport noise; Noise annoyance; Charging model; ACI aircraft noise classification

0 引言

随着民航业的快速发展，我国民用机场的数量、规模、密度和运输量均在同步增长。民用机场的高速发展，显著提升了我国民航基础设施水平，满足了不断增长的民航运输需求，但也带来了一系列环境问题，例如机场净空对城市建设的限制、飞机排放大气污染等，这其中最为突出的无疑是机场航空噪声影响[1]。根据调查，1999 年，我国 29% 的民航运输机场 (36 个机场) 具有噪声影响 (影响程度含严重、较严重和一般)；至 2018 年，上述比例升高到 54%(123 个机场)，比例增长近 1 倍，数量增长 87 个，呈现愈演愈烈的态势。

机场噪声治理可采用多种方法和措施，如优化机场选址、跑道规划、采用减噪飞行程序、跑道使用轮换、夜间飞行限制等[2−3]。但是，只要机场运行总会产生一定的噪声影响，而这种影响一旦施加于机场周边的某座居民楼或机关、学校、医院等噪声敏感设施，就会形成长期相随、挥之不去的烦扰。解决上述问题不外乎两种方案，要么进行建筑围护结构的隔声降噪，要么实施搬迁。无论采取何种措施，都需要资金支持。由于缺乏专项资金来源，我国许多机场周边受噪声影响的建筑难以实施降噪或搬迁。目前我国一些机场周边的噪声问题，往往借助机场改扩建项目资金来解决。

民航机场提供的是社会公共服务，在服务收费方面受到政府、法规的种种约束，并非高盈利企业，很多机场常年处于亏损状态。在此情况下，征收航空噪声费具有合理性，也符合国际通行做法。根据“谁污染谁治理”“谁受益谁补偿”的原则，机场噪声费可由航空公司或旅客来承担。探讨合理的机场飞机噪声收费方法，对我国未来机场噪声治理、收费立法等都具有重要意义。

表 1 列出了一些国家 (地区) 采用的机场噪声收费模型[4−6]，普遍只考虑了飞机噪声的大小。实际上，飞机噪声对人的影响用烦恼度表征[7]，飞机噪声收费与噪声烦恼度挂钩更为科学，因为同样大小的噪声发生在不同时段所引发的烦恼度会有较大差异。鉴于目前飞机噪声收费模型的上述缺陷，本文提出了基于噪声烦恼度的飞机噪声收费模型。

1 飞机噪声分级方法

机场噪声收费须以飞机噪声影响程度为依据，噪声高的飞机多收，低的少收或不收。判断飞机的噪声影响可采用两种方法，一是根据《国际民用航空公约附件 16 第 I 卷飞机噪声》[8](以下简称“附件 16”) 进行判断，再就是根据国际机场理事会 (Airport council international, ACI) 的飞机噪声分级方法进行判断。

表 1　部分国家和地区机场噪声收费模型

Table 1　The airport noise charge model in some countries and regions

	机场噪声收费公式	备注
中国台湾地区	$\mathrm{NC} = 17x + 95(y - 73)$	NC 为机场对每个航班收取的噪声费用 ($)，$x$ 为最大起飞质量 (t)，y 为起飞有效感觉噪声级 (dB)
欧盟	$C = C_a \times 10^{(L_a - T_a)/10} + C_d \times 10^{(L_d - T_d)/10}$	C 为具体某机场的飞机一次进场与离场的噪声收费之和 (€)，C_a、C_d 是进离场噪声收费率 (€)，L_a、L_d 为飞机进离场噪声级别 (dB)，T_a、T_d 为进离场噪声门槛值 (dB)
澳大利亚	$\mathrm{Tax} = \mathrm{Rate} \times 2^{(\mathrm{ANL}-265)/15}$	Tax 为飞机噪声税 (A$)，Rate 为噪声收费税率 (A$)，ANL 为评估噪声级 (dB)
日本	$T = t_n \times (n - 83)$	T 为机场收取的噪声费 (¥)，t_n 为噪声收费费率 (¥)，n 为有效感觉噪声级 (dB)
瑞典	$T = t_n \times 10^{(n-104)/10}$	T 为机场收取的噪声费 (Kr)，t_n 为噪声收费费率 (Kr)，n 为有效感觉噪声级 (dB)

附件16方法本质上是国际民航组织制定的飞机噪声合格审定方法，飞机制造商欲使飞机投入商业运行，必须通过噪声合格审定。如图1所示，飞机噪声合格审定须进行横侧噪声测量点(lateral)、飞越噪声测量点(flyover)和进场噪声测量点(approach)的有效感觉噪声级(Effective perceived noise leval, EPNL)并满足一定标准。

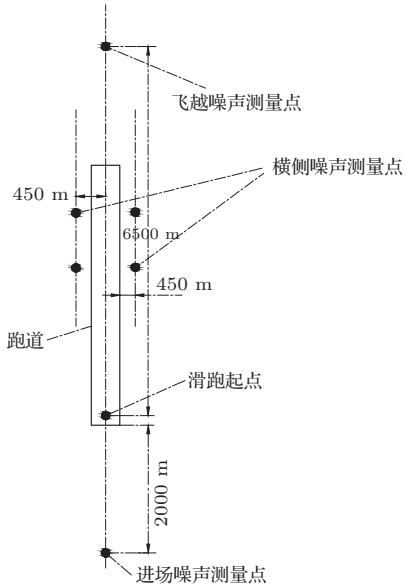

图1 飞机噪声合格审定噪声测量点

Fig. 1 The noise measurement points of aircraft noise certification

附件16按飞机重量级和提交型号合格证申请的时间，将亚声速喷气发动机飞机的噪声标准分别在第2章、第3章、第4章、第14章中表述，习惯上将满足第X章噪声标准的飞机成为第X章飞机。在附件16第I卷第3章中规定：对于所有噪声审定合格的飞机，在横侧噪声测量点处所测得的审定起飞质量为4×10^5 kg以上的飞机噪声限定值为103 dB，且随质量的对数呈线性减少，直至噪声限定值减至94 dB后该值保持恒定；在进场噪声测量点处所测得的审定起飞质量为2.84×10^5 kg以上的飞机噪声限定值为105 dB，且随质量的对数呈线性减少，直至噪声限定值减至98 dB后该值保持恒定；在飞越噪声测量点处所测得的审定起飞质量为3.85×10^5 kg以上装有2台及以下发动机的飞机噪声限定值为101 dB(对于装有3台发动机和装有4台及以上发动机的飞机，噪声限定值分别为104 dB和106 dB)，且随质量的对数呈线性减少，质量每减少一半则噪声级减少4 dB，直至噪声限定值减至89 dB后该值保持恒定。但是，根据附件16标准，存在难以对某机型进行噪声影响快速归类(即归为第几章)、同一类别(章)的不同机型噪声特性仍有较大差异以及具体噪声数据要通过查询噪声合格审定报告才能获取等一系列问题，从噪声收费管理角度看并不方便。

2002年4月，ACI指示其环境常委会起草了飞机噪声评级指标，以相对附件16第3章飞机的横侧、飞越、进场三点的噪声最小消减值和三点噪声累积(加和)的最小消减值为分类标准，制订了A、B、C、D、E、F六个等级的飞机噪声分类指标，该指标于2002年10月被ACI 正式采纳。鉴于后来飞机噪声特性的显著提升，ACI又对该分类指标进行改进，2009年11 月，ACI发布了“改进的飞机噪声分类指标(Modified aircraft noise rating index)”，如表2所示。

显然，ACI飞机噪声分类指标更细，能更准确地表征飞机噪声影响，定量表达飞机噪声改善(消减)值，考虑了未来飞机噪声特性改进空间而具有更长久的适用性和稳定性，通过查表可方便地确定飞机噪声分类指标。鉴于上述优点，本文采用ACI的飞机噪声分类方法。

2 机场飞机噪声收费模型

本文在综合考虑飞机噪声特性、噪声所致人的烦恼度和机场噪声治理投入费用的基础上，提出的机场飞机噪声收费模型为

$$C_{ij} = F_j \cdot N_i \cdot S_i, \tag{1}$$

表2 改进的ACI飞机噪声分类指标

Table 2 The improved ACI aircraft noise classification index

分类条件	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
相对第3章飞机累积EPN的至少消减量/dB	少于0	0或更多	5或更多	10或更多	15或更多	20或更多	25或更多	30或更多
相对第3章飞机每个测点EPN的至少消减量/dB	不可用	0	1	2	3	4	5	6

式 (1) 中：C_{ij} 是 j 机场对 i 飞机起飞或着陆一次的噪声收费额，F_j 是 j 机场噪声收费费率，N_i 是根据 ACI 飞机噪声分类确定的 i 机型噪声特性参数，S_i 是根据 i 飞机的 ACI 噪声分类、飞行时段 (昼/夜)、飞行状态 (起/降) 确定的噪声烦恼度系数。

机场噪声收费费率 F_j 根据具体机场投入的噪声治理费用总额、航空公司/旅客对噪声收费可接受度以及投入资金回收周期等因素计算确定。噪声收费费率应严格遵循国际民航组织确立的方法透明、以支定收原则。噪声收费应有助于形成对航空公司/旅客的减噪激励机制，即引导航空公司主动采用低噪声飞机运行、旅客选乘低噪声飞机，以便减少噪声费支出。噪声收费不宜太高，防止抑制航空公司运行积极性和旅客增长 [9]。根据调查研究，机场噪声费不宜超过飞机起降费或整机乘客标准票价总额的 10%。一般来说，通过对资金回收周期的调整可得出合理的费率 F_j。具体算法，详见 4.2 节。

式 (1) 中，噪声特性参数 N_i 计算式分别为

$$\text{对于着陆}\quad N_{ia} = 10^{\frac{\Delta L_{ai}}{10}}, \tag{2}$$

$$\text{对于起飞}\quad N_{id} = 10^{\frac{\Delta L_{di}}{10}}, \tag{3}$$

其中：ΔL_{ai}、ΔL_{di} 分别表示 i 飞机进场、离场测量点的有效感觉噪声 EPN 相对第 3 章飞机的消减值。其中，ΔL_{ai} 值等于进场基准噪声测量点的有效感觉有效噪声消减值，ΔL_{di} 等于飞越、横侧噪声测量点的有效感觉噪声消减值平均值。根据式 (2)、式 (3) 以及表 1，可计算出基于 ACI 飞机噪声分类的噪声特性参数，见表 3。

基于以上公式，可得到机场年飞机噪声收费计算式：

$$C_j = 12F_j \sum_{i=1}^{n} [N_{ia}(V_{ia1}S_{ia1} + V_{ia2}S_{ia2}) + N_{id}(V_{id1}S_{id1} + V_{id2}S_{id2})], \tag{4}$$

其中：C_j 是机场年噪声收费额；12 表示一年的月数；F_j 为 j 机场噪声收费费率；n 表示机型种数；N_{ia}、N_{id} 分别表示 i 飞机起飞、着陆的噪声特性参数；V_{ia1}、V_{ia2} 分别表示 i 飞机月均昼、夜着陆架次；V_{id1}、V_{id2} 分别表示 i 飞机月均昼、夜起飞架次；S_{ia1}、S_{ia2} 分别表示 i 飞机昼、夜着陆的烦恼度系数；S_{id1}、S_{id2} 分别表示 i 飞机昼、夜起飞的噪声烦恼度系数。

表 3　基于 ACI 分类的飞机噪声特性参数

Table 3　The aircraft noise characteristic parameters based on ACI classification

噪声分类	R8	R7	R6	R5	R4	R3	R2
$\Delta L_{ai}/\Delta L_{di}$	−6	−5	−4	−3	−2	−1	0
N_{ia}/N_{id}	0.251	0.316	0.398	0.501	0.631	0.794	1

3　噪声烦恼度系数确定

1973 年，英国的曼达尼 (E. Mamdani) 教授在指导博士生研究小型锅炉-蒸汽机系统的自动控制时，用扎德提出的 “if...then...” 模糊语句表述出模糊语言规则，通过模糊逻辑推理成功实现了对该系统的有效控制，以后的学者将此双输入-单输出 F 控制器称为 Mamdani 型二维模糊控制器。机场噪声影响会给机场周边社区公众带来烦恼，其烦恼度与飞机噪声声压级和发生时段有关。飞机噪声声压级越大、发生时段越敏感 (比如深夜)，其所导致的烦恼度越高。鉴于烦恼度是一个模糊概念，同时飞机噪声声压和发生时段满足 Mamdani 二维模糊系统的双输入条件，最后输出的单一结果为精确值 (机场噪声烦恼度)，故本文采用 Mamdani 模型构建机场噪声烦恼度模型，具体流程见图 2。

3.1　模糊集语言值确定及关键因子模糊化

飞机噪声水平可划分高、中和低等 3 个等级，对应的模糊集语言值为：H(High noise)、M(Medium noise) 和 L(Low noise)。噪声发生时间段分为昼间、夜间，对应的模糊集语言值为：D(Day) 和 N(Night)。

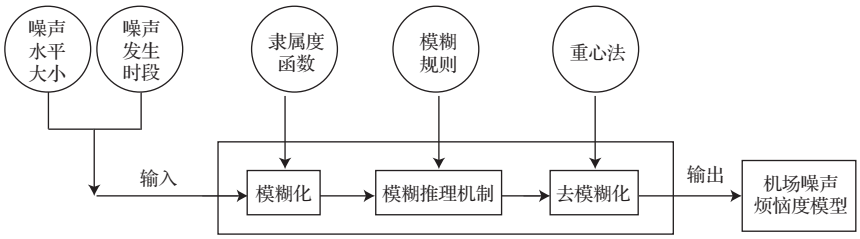

图 2　机场噪声烦恼度模型构建流程图

Fig. 2　The flow chart of airport noise annoyance model construction

针对飞机噪声水平特点，采用高斯隶属函数对其进行模糊化。由于采用了 ACI 飞机噪声分类指标，现分别以噪声消减值 −6 dB、−3 dB 和 0 dB 作为低、中和高噪声高斯隶属度函数的中心值，且以 1 dB 作为函数宽度。对于噪声发生时段，仍用高斯隶属度函数进行模糊化，分别选取 14:00 和 2:00 作为昼间、夜间高斯隶属度函数中心，以 3 h 为函数宽度。

将人对飞机噪声的烦恼度分为不烦恼 (NA)、稍烦恼 (SA)、中烦恼 (MA)、很烦恼 (HA) 和极烦恼 (EA) 等 5 个水平。噪声烦恼度仍采用高斯隶属度函数进行模糊化，分别以 0、0.25、0.5、0.75、1 作为隶属度函数中心值，不同类别的烦恼度差值为 0.1。

3.2 模糊推理及去模糊化

综合考虑噪声水平、发生时段、飞行状态 (起飞/着陆)，同时注意起飞噪声大于着陆噪 2 声，确立了以下噪声烦恼度模糊规则，如表 4 所示。

表 4 噪声烦恼度模糊规则

Table 4 The fuzzy rules of noise annoyance

噪声水平	噪声烦恼度			
	起飞		着陆	
	D	N	D	N
L	SA	MA	NA	SA
M	MA	HA	SA	MA
H	HA	EA	MA	HA

下面对飞机噪声烦恼度模型去模糊化，旨在确定最能代表模糊集合的一个精确值。鉴于本文关键因子隶属函数的性质，采用了重心法去模糊化，取模糊集合隶属函数与变量轴所围面积的重心为模糊集合精确值。着陆、起飞对应的噪声烦恼度如图 3 所示。

表 5 各 ACI 噪声类别飞机的噪声烦恼度系数

Table 5 The noise annoyance coefficient of aircraft in each ACI noise category

ACI 飞机噪声分类	噪声烦恼度			
	起飞		着陆	
	D	N	D	N
R2	0.743	0.915	0.497	0.743
R3	0.695	0.843	0.450	0.695
R4	0.550	0.751	0.305	0.550
R5	0.500	0.743	0.257	0.500
R6	0.450	0.695	0.249	0.450
R7	0.305	0.550	0.157	0.305
R8	0.257	0.503	0.085	0.257

据此，可以计算得到不同 ACI 噪声类别飞机在不同飞行状态 (起飞、着陆)、飞行时段 (昼、夜) 的噪声烦恼度系数值，详见表 5。

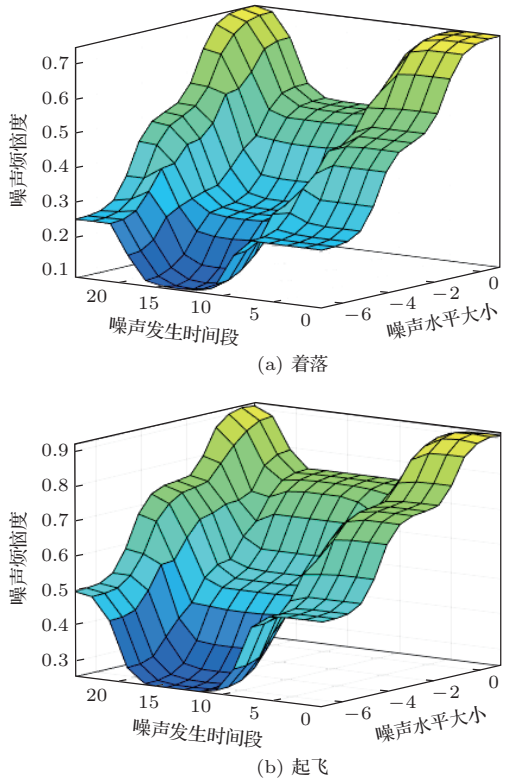

图 3 噪声烦恼度可视图

Fig. 3 The visibility of noise annoyance

4 收费模型应用

4.1 应用背景

北方某 4E 级运输机场 A，2020 年机场月均起降飞机 26644 架次。根据机场总体规划预测，未来机场起降架次将以对数函数趋势增长。机场主要运行空客、波音系列飞机，飞机的 ACI 噪声分类涉及 R2、R3、R4、R5、R6、R7 等 6 个类别。A 机场运行给周边区域的学校、养老院和居民生活带来了不同程度影响，现决定对 A 机场噪声影响进行治理。根据机场环境影响评价报告，计划对计权等效连续感觉噪声级 (L_{WECPN})75 ~ 85 dB 区域的居住建筑和 75 ~ 80 dB 噪声区域的学校、养老院等敏感建筑，进行建筑隔声降噪处理。对 85 dB 以上区域居住建筑、80 dB 以上区域学校、养老院等敏感建筑，实施搬迁安置。经测算，噪声治理项目总费用 25.5 亿元，其中隔声降噪费用 9.3 亿元，搬迁安置建设费用 16.2 亿元。根据上述信息和机场噪声收费模型，确

定该机场的飞机噪声收费方案。

4.2 机场噪声收费费率 F_j 的计算

2020 年 A 机场的起降机型、架次、时段以及 ACI 噪声分类，详见表 6。

表 6　A 机场 2020 年运行机型、ACI 噪声分类和月均起降架次

Table 6 The aircraft types, ACI noise classification and average monthly movements of Airport A in 2020

机型	ACI 噪声分类	着陆架次		起飞架次		总架次
		昼	夜	昼	夜	
B737-800	R4	556	124	632	90	1402
A320-200	R2	13	8	15	5	41
A321-200	R4	649	121	741	112	1623
B737-600	R5	31	11	43	10	95
A310-300	R3	351	48	335	26	760
B737-700	R4	121	31	128	32	312
B737-500	R2	46	16	43	7	112
A330-300	R4	4324	1021	4587	851	10783
A380-800	R7	32	8	34	7	81
A340-200	R6	31	11	43	11	96
A319-100	R4	1326	438	1483	576	3823
B777-200	R5	122	71	156	39	388
A300-600	R3	1222	411	1504	375	3512
B747-400	R3	1346	422	1336	473	3577
B767-300	R6	13	5	18	3	39

根据表 6，可计算得到该机场 2020 年各机型的月均噪声收费额，见表 7。

表 7 中，M^* 表示各机型月均加权总起降架次，计算式为

$$M^* = N_{ia} \cdot (V_{ia1} \cdot S_{ia1} + V_{ia2} \cdot S_{ia2}) + N_{id} \cdot (V_{id1} \cdot S_{id1} + V_{id2} \cdot S_{id2}). \tag{5}$$

根据 A 机场近 10 年的年起降架次和机场航空业务量预测，经拟合得到年起降架次与年份的关系式为

$$y = 66823 \cdot \ln(x - 2010) + 170877. \tag{6}$$

根据式 (6)，做出图 4 所示的年起降架次与年份关系。

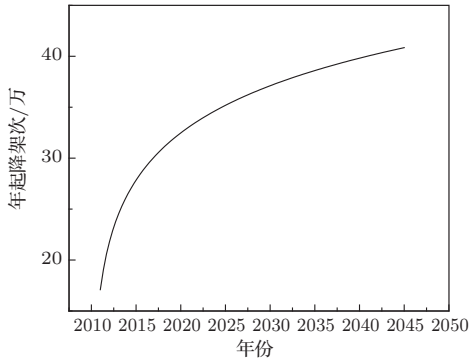

图 4　A 机场未来年起降架次预测

Fig. 4 The forecast of takeoff and landing sorties of Airport A in the coming years

表 7　2020 年各机型月均加权总起降架次

Table 7 Monthly weighted total takeoff and landing sorties of all aircraft types in 2020

机型	N_{ia}/N_{id}	V_{ia1}	S_{ia1}	V_{ia2}	S_{ia2}	V_{id1}	S_{id1}	V_{id2}	S_{id2}	M^*
B737-800(R4)	0.631	556	0.305	124	0.550	632	0.550	90	0.751	412.024
A320-200(R2)	1.000	13	0.497	8	0.743	15	0.743	5	0.915	28.125
A321-200(R4)	0.631	649	0.305	121	0.550	741	0.550	112	0.751	477.135
B737-600(R5)	0.501	31	0.257	11	0.500	43	0.500	10	0.743	21.241
A310-300(R3)	0.794	351	0.450	48	0.695	335	0.695	26	0.843	354.166
B737-700(R4)	0.631	121	0.305	31	0.550	128	0.550	32	0.751	93.632
B737-500(R3)	0.794	46	0.450	16	0.695	43	0.695	7	0.843	53.679
A330-300(R4)	0.631	4324	0.305	1021	0.550	4587	0.550	851	0.751	3181.705
A380-800(R7)	0.316	32	0.157	8	0.305	34	0.305	7	0.550	6.852
A340-200(R6)	0.398	31	0.249	11	0.450	43	0.450	11	0.695	15.786
A319-100(R4)	0.631	1326	0.305	438	0.550	1483	0.550	576	0.751	1194.834
B777-200(R5)	0.501	122	0.257	71	0.500	156	0.500	39	0.743	87.089
A300-600(R3)	0.794	1222	0.450	411	0.695	1504	0.695	375	0.843	1744.378
B747-400(R3)	0.794	1346	0.450	422	0.695	1336	0.695	473	0.843	1767.642
B767-300(R6)	0.398	13	0.249	5	0.450	18	0.450	3	0.695	6.237

根据表7可得到A机场2020年的月均加权总起降架次，于是机场2020年的年噪声收费额为

$$C_{\mathrm{A2020}} = 12F_j \sum_{i=1}^{n} \Big[N_{ia}(V_{ia1}S_{ia1} + V_{ia2}S_{ia2}) + N_{id}(V_{id1}S_{id1} + V_{id2}S_{id2}) \Big], \tag{7}$$

认为2020年的后续年份的机型比例、各时段起降比例不变，则后续某年份与2020年的噪声收费额比例等于上述两个年份的起降架次比例。

根据收支平衡原则，有以下关系式：

$$H_{\mathrm{A}} = \sum_{i}^{n} C_{\mathrm{A}_i}, \tag{8}$$

其中，H 是A机场噪声治理支出总费用，C_{A_i} 是A机场第 i 年噪声年收费，n 是计划费用回收周期(年)。机场可根据投入的费用总额、航空公司/旅客可接受度、利率等因素，确定一个若干年的资金回收周期。就本案例而言，如从2021年起征机场噪声费，通过计算可得到不同回收周期(年数)所对应的机场噪声收费费率[10]，如表8所示。

由表8可见，如资金回收周期过短，会导致机场噪声收费费率过高，从而产生抑制航班量增长的不利影响；但如果资金回收周期过长，则机场噪声收费费率过低，难以形成对航空公司、旅客的减噪激励机制。具体到A机场，综合各方面考虑，确定资金回收周期为15年，机场噪声收费费率为1332.31元。

表8 资金征收周期和噪声收费费率的关系

Table 8 The relationship between capital collection cycle and noise charge rat

征收周期/年	累积年起降架次/架	噪声收费费率/元
5	1696015	4241.61
10	3505560	2052.12
15	5399527	1332.31
20	7360770	977.32
25	9377960	767.10
30	11443044	628.66

4.3 各机型和旅客人均噪声收费计算

各机型按客座率80% 计算，计算得到各机型不同时段起飞/着陆的旅客人均收费，见表9。

根据表9，得到各噪声等级机型不同时段起飞或着陆的噪声收费，如表10所示。

表9 各机型和旅客人均噪声收费

Table 9 The per capita noise charge of each aircraft type and passenger

(单位：元)

机型	乘客人数	着陆				起飞			
		昼间收费	人均收费	夜间收费	人均收费	昼间收费	人均收费	夜间收费	人均收费
B737-800	150	256.41	1.71	462.38	3.08	462.38	3.08	631.36	4.21
A320-200	120	662.16	5.52	989.91	8.25	989.91	8.25	1219.06	10.16
A321-200	188	256.41	1.36	462.38	2.46	462.38	2.46	631.36	3.36
B737-600	105	171.54	1.63	333.74	3.18	333.74	3.18	495.94	4.72
A310-300	176	476.03	2.70	735.21	4.18	735.21	4.18	891.77	5.07
B737-700	119	256.41	2.15	462.38	3.89	462.38	3.89	631.36	5.31
B737-500	105	476.03	4.53	735.21	7.00	735.21	7.00	891.77	8.49
A330-300	264	256.41	0.97	462.38	1.75	462.38	1.75	631.36	2.39
A380-800	444	66.10	0.15	128.41	0.29	128.41	0.29	231.56	0.52
A340-200	208	132.03	0.63	238.62	1.15	238.62	1.15	368.53	1.77
A319-100	110	256.41	2.33	462.38	4.20	462.38	4.20	631.36	5.74
B777-200	240	171.54	0.71	333.74	1.39	333.74	1.39	495.94	2.07
A300-600	238	476.03	2.00	735.21	3.09	735.21	3.09	891.77	3.75
B747-400	335	476.03	1.42	735.21	2.19	735.21	2.19	891.77	2.66
B767-300	288	132.03	0.46	238.62	0.83	238.62	0.83	368.53	1.28

表 10　A 机场不同噪声等级飞机的收费对照表

Table 10 The comparison of charges for aircraft with different noise levels at airport A

(单位：元)

机型噪声分类	昼间着陆	夜间着陆	昼间起飞	夜间起飞
R2	662.16	989.91	989.91	1219.06
R3	476.03	735.21	735.21	891.77
R4	256.41	462.38	462.38	631.36
R5	171.54	333.74	333.74	495.94
R6	132.03	238.62	238.62	368.53
R7	66.10	128.41	128.41	231.56

根据表 9，噪声较高的 A320-200 飞机 (ACI 噪声分类 R2)，夜间起飞收费为 1219.06 元/架次，客均收费 10.16 元；噪声很低的 A380-800 飞机 (ACI 噪声分类 R7)，昼间着陆收费为 66.10 元/架次，客均收费仅 0.15 元。上述收费额相对于飞机起降费和旅客票价，都在可承受的合理范围。

5　结论

(1) 本文提出了基于飞机噪声特性、噪声烦恼度、噪声治理投入费用和资金回收周期等因素的机场噪声收费模型。该方法综合考虑了飞机的噪声影响特性，特别是考虑了因不同机型、不同时段 (昼夜)、不同运行状态 (起降) 所导致的烦恼度差异，考虑了费率的合理性和可接纳度。

(2) 应用表明，本文模型具有关键因素考虑全面、计算方法先进简洁、费率合理等特点。对于噪声较高的 R2 级飞机，夜间起飞收费为 1219.06 元/架次，客均收费 10.16 元；对于噪声很低的 R7 级飞机，昼间着陆收费为 66.10 元/架次，客均收费仅 0.15 元。费率确定符合国际民航组织倡导的以支定收原则，有助于形成航空公司/旅客减噪激励机制又不致抑制机场航空业务增长。

参　考　文　献

[1] 高海燕. 浅论机场噪声污染侵权纠纷 [J]. 法制与社会, 2011(16): 55–56.

[2] Postorino M N, Mantecchini L. A systematic approach to assess the effectiveness of airport noise mitigation strategies[J]. Journal of Air Transport Management, 2016, 50: 71–82.

[3] 杨珂. 多跑道民用机场噪声消减措施研究 [D]. 天津: 中国民航大学, 2018.

[4] Lu C. Combining a theoretical approach and practical considerations for establishing aircraft noise charge schemes[J]. Applied Acoustics, 2014, 84: 17–24.

[5] Evangelinos C, Püschel R, Niemeier H M. Special interest groups and price-structure: an application to noise charging at Zurich Airport[J]. Research in Transportation Economics, 2020, 79: 100762.

[6] Girvin R. Aircraft noise-abatement and mitigation strategies[J]. Journal of Air Transport Management, 2008, 15(1): 14–22.

[7] 冯霞, 张聪颖, 卢敏. 基于模糊神经网络的机场噪声烦恼度模型学习 [J]. 计算机工程与设计, 2015, 36(12): 3396–3401.
Feng Xia, Zhang Congying, Lu Min. Airport noise annoyance model learning based on fuzzy neural network[J]. Computer Engineering and Design, 2015, 36 (12): 3396–3401.

[8] International Civil Aviation Organization. Environmental technical manual, Volume I, procedures for the noise certification of aircraft[Z]. Montreal: ICAO, 2010.

[9] 孙宏, 黄赶祥, 周杰松. 法兰克福机场噪音收费制度研究 [J]. 科技和产业, 2015, 15(7): 86–89.

[10] 王维, 匡代厅. 中国机场噪声收费通用模型及实例研究 [J]. 北京航空航天大学学报 (社会科学版), 2016, 29(2): 70–76, 90.
Wang Wei, Kuang Daiting. General model and case study of airport noise charge in China[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics (Social Science Edition), 2016, 29(2): 70–76, 90.