

文章编号:1005-0523(2017)06-0090-07

累积事件飞机噪声评价指标改进研究

许跃凤,胡 荣,陈 琳,张菲菲

(南京航空航天大学民航学院,江苏 南京 210016)

摘要:选取合理的噪声评价指标是机场飞机噪声评估与控制的重要前提。文章分析了部分国家和地区的典型累积事件噪声评价指标,总结了其共性和差异;针对我国计权等效连续感觉噪声级与声环境噪声指标不统一,提出了累积事件噪声新指标;针对对现有指标一定程度上湮没夜间噪声事件的影响,新增了夜间噪声评价指标;最后采用广州白云国际机场实际数据开展实例研究,验证改进后评价指标的有效性,研究结果具有一定的现实参考价值。

关键词:航空运输;飞机噪声;累积事件;评价指标;夜间指标;实例验证

中图分类号:V216;[U8]

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.06.011

航空运输大大缩短了出行时间,给人们的日常生活带来很多便利,成为越来越多出行者的首选。2016年,民航业完成运输总周转量 962.51 亿吨公里,同比增长 13%,民航运输机场起降架次达到 923.8 万架次,同比增长 7.9%。民航业飞速发展的同时,飞机起降架次的增多给机场周边居民带来了许多噪声问题,频频引发居民抗议事件,机场噪声控制已成为研究热点。而科学、客观地评估机场噪声则是进行噪声控制的基础,如何选取噪声评价指标合理评估噪声显得尤为重要。

飞机噪声评价指标可以分为单事件噪声评价指标和累积事件噪声评价指标。单事件噪声评价指标用来衡量单架航空器单次飞行事件对地面噪声影响,可分为两类,基于噪声度的有效感觉噪声级(L_{EPN})和最大感觉噪声级(L_{EPNmax}),以及基于响度的 A 声级(L_A)、声暴露级(L_{se})和等效声级(L_{eq})。累积事件噪声评价指标用来衡量多个飞行事件的累积声级的影响,其差异性体现在飞行架次、飞行时间等元素累积方式不同。

针对现有飞机噪声评价指标,Luis Gasco^[1]概述了飞机噪声评价指标的发展历程,分析了欧洲、美国部分机场的噪声评价指标;Jules G Slama^[2]考虑了环境评价指标和噪声评价指标之间的转换方法,以昼夜等效声级(L_{DN})和等效声级为例,开展了转化计算;Tarcilene Aparecida Heleno^[3]针对 L_{DN} 会造成噪声失真的现象,提出用等效声级评估飞机噪声,并建立了昼间等效声级和夜间等效声级两个噪声评价量,等等。在国内,对现有飞机噪声评价量改进的方法主要分为两类,一类是不改变原有指标,增加新指标,包括:提出增加 ISO20906 标准中的 L_N ^[4]、增加最大 A 声级(L_{Amax})^[5-6]、增加 L_{EPN} ^[7]、增加感觉噪声级(L_{PN})^[8]以及增加夜间噪声评价指标^[9]。另一类是改进现有噪声评价指标:沈颖^[10]提出了基于声暴露级的飞机等效声级;王冬冬^[11]参考噪声事件数指数 NNI 设计了基于声暴露级的噪声评价指标 NEI ;朱志聪^[12]提出采用 L_{DN} 代替等效连续感觉噪声级(L_{WECPN}),并对夜间噪声加入 10 dB 的噪声补偿,等。除此之外,沈颖^[13]提出基于暴露声级的飞机等效声级并建议增加声暴露级;李玉文^[5]针对飞机噪声对不同人群影响差异,考虑利用系数法进行修正;李东亚^[14]提出采用声暴露级测算单事件噪声并在噪声敏感区域加上 5 dB 的噪声补偿,等等。

收稿日期:2017-07-04

基金项目:国家自然科学基金(71401072);中央高校基本科研业务费专项资金(NR2014007,NS2015068);江苏省研究生培养创新工程(SJLX16_0118);南京航空航天大学研究生创新基地(实验室)开放基金(KFJJ20160702)

作者简介:许跃凤(1992—),女,硕士研究生,研究方向为航空航天。

通讯作者:胡荣(1980—),男,副教授,博士,研究方向为民航经济。

综上所述,国内外学者对噪声评价指标的研究十分透彻,成果丰富,特别是对我国噪声评价指标的改进,国内学者从不同角度提出了很多建议和方案。但仍存在如下改进空间:一是很多建议和改进方法还停留在理论层面,鲜有实证研究,可操作性未知;二是夜间噪声是引起机场周边居民不满的重要因素,现有研究对夜间噪声关注度不够。因此,本文将对部分国家和地区的累积事件噪声评价指标进行概述,探讨指标间的共性和差异,分析我国现有噪声评价指标的优点和不足,提出改进方法并进行实例验证,以期为我国飞机噪声评价指标改进提供参考。

1 飞机噪声评价指标概述

19世纪50年代初,专家学者开始致力于飞机噪声的研究。较之交通运输中其他运输方式(公路、铁路、水运等)的噪声,飞机噪声具有突发性、非稳态性、噪声级高等特点,飞机噪声评价指标需要综合反映以上特征,因此种类更多。对12个国家(地区)典型的飞机噪声评价指标统计与特征分析的结果见表1。

表1 部分国家(地区)噪声评价指标汇总
Tab.1 Summary of noise metrics in some countries and regions

噪声评价指标	使用国家或地区	计算公式	单事件度量单位	昼夜补偿
噪声事件数 指数 NNI	英国	$NNI=10 \lg \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{PNL_{A10}} \right\} + 15 \lg N - 80$	最大感觉噪声级	分2段,白天和晚上允许不同的 NNI 值
噪声暴露 预报 NEF	中国香港, 加拿大	$NEF=10 \lg \sum_i \sum_j 10^{\frac{EPNL_{ij}+10 \lg(N_{dn}+17NN_{ij})-C}{10}}$	有效感觉 噪声级	分2段,夜间一架次等于白天 17架次
昼夜等效 声级 L_{DN}	美国	$L_{DN}=10 \lg \left[\frac{1}{24} (15 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 9 \times 10^{\frac{(L_n+10)/10}{10}}) \right]$	A 声级	分2段,夜间+10 dB
社区噪声 等效声级 L_{CNE}	丹麦	$L_{CNE}=SENEL+10 \lg(N_d+3N_e+10N_n)-49.4$	A 声级	分3段,夜间1架次等于白天 10架次,傍晚1架次等于白天 3架次
平均烦扰 声级 $\bar{Q}$	德国	$\bar{Q}=13.3 \lg(10^{\frac{PNL_{max}}{133}})+13.3 \lg N-47$	感觉噪声级 平均峰值	无
澳洲噪声暴露 预报 $ANEF$	澳大利亚	$ANEF=L_{EPN}+10 \lg(N_d+3N_e+10N_n)-88$	有效感觉 噪声级	分3段,夜间和傍晚1架次等 于白天4架次
噪度指数 NI	南非	$\bar{NI}=10 \lg \sum_{i=1}^n \text{anti} \lg \left(\frac{L_i+10 \lg(t/t_0)+C+S}{10} \right)$	A 声级	C 为时间修正因子,白天0,傍晚5,夜间10
总噪声负载 B	荷兰	$B=20 \lg \left[\sum_{i=1}^n W_i \times \text{anti} \lg(L_i/15) \right] - C$	A 声级	W_i 为时间计权系数,分10段 赋值
等干扰数 EDD	瑞典	$EDD=N_d+3N_e+10N_n$	A 声级	分3段,夜间1架次等于白天 10架次,傍晚1架次等于白天 3架次
欧洲噪声 标准 L_{DNE}	法国	$L_{DNE}=10 \lg \frac{1}{24} \left[(12 \times 10^{\frac{L_{dn}}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_{night}+10}{10}}) \right]$	等效声级	分3段,夜间+10dB,傍晚+5dB
修正计权等效 感觉噪声级 L_{WECPN}	日本	$L_{WECPN}=\overline{dB(A)}+10 \lg[N_2+3N_3+10(N_1+N_4)]-27$	A 声级	分4段,夜间和凌晨1架次等 于白天10架次,傍晚1架次等 于白天3架次
计权等效感觉 噪声级 L_{WECPN}	ICAO, 中国	$L_{WECPN}=\bar{L}_{EPN}+10 \lg(N_1+3N_3+10N_5)-39.4$	有效感觉 噪声级	分3段,夜间1架次等于白天 10架次,傍晚1架次等于白天 3架次

梳理现有研究成果可知,累积事件噪声评价指标的差异性主要体现在以下几个方面:

1) 单事件噪声评价指标选取不同。A 声级基于响度,可用声级计测量获取;等效声级基于 A 声级,考虑时间因素,是某一段时间内的 A 声级能量平均值;有效感觉噪声级基于噪度,考虑了持续时间和纯音修正,计算复杂。所以,单事件噪声评价指标决定了累积事件噪声评价指标是基于表征声音的主观响度,还是考虑飞机噪声对人的烦扰度,同时,影响到累积事件噪声计算的难易程度。

2) 时间段划分及不同时间段计权因子不同。不同国家(地区)的时间段划分基本为 2 段或 3 段,且通常夜间噪声加 10 dB,傍晚噪声加 5 dB 或夜间 1 架次等于白天 10 架次、傍晚 1 架次等于白天 3 架次,例如:等干扰数、社区噪声等效声级、昼夜等效声级等。

3) 评价指标考虑的因素多少不同。一些评价指标考虑更为全面,例如计权等效连续感觉噪声级,单事件噪声级为有效感觉噪声级,本身就包含对时间的修正;南非的噪度指数包含对季节的修正,等等。而有些评价指标考虑因素较少,如等效昼夜干扰数,单事件噪声级为 A 声级峰值,可以直接测得,计算简单。

不同国家(地区)由于政治经济、人文地理、航空业发展现状的差异,对飞机噪声评价指标的选取和制定各不相同,但上述飞机噪声评价指标可归纳为以下 2 种形式:

$$\text{评价指标} = \overline{dB} + a \lg(iN_1 + jN_2 + kN_3) - C \quad (1)$$

$$\text{评价指标} = K \lg \left(\sum_{m=1}^n x_m y_m 10^{\omega_m/B} \right) - C \quad (2)$$

式(1)中: $\overline{dB}$ 为 N 个单事件噪声能量平均值; a 为常数项系数,通常定为 10,也有少数指标定为 15 或 20 等; N_1, N_2, N_3 为时间段划分,一般为两段和三段,可根据需要划分为多段; i, j, k 为不同时间段的计权系数; C 为规范化常数。式(2)中: K 为常数项系数,通常定为 10,也有少数指标定为 15 或 20 等; x_m 为 m 种机型的飞行架次; y_m 为飞行时间段的权重; ω_m 为单事件噪声值。

2 我国评价指标存在问题及改进方法

2.1 现行指标

国家环境保护局 1988 年颁布的《机场周围飞机噪声环境标准》(GB9660-88),规定了我国飞机噪声评价量为一昼夜的计权等效连续感觉噪声级,单事件噪声基于有效感觉噪声级,单位为 dB。计算公式如下:

N 个有效感觉噪声级的能量平均值计算公式:

$$\bar{L}_{EPN} = 10 \lg \left[(1/N) \times \sum_{i=1}^N 10^{L_{EPN}/10} \right] \quad (3)$$

计权有效连续感觉噪声级计算公式:

$$L_{WECPN} = \bar{L}_{EPN} + 10 \lg(N_1 + 3N_2 + 10N_3) - 39.4 \quad (4)$$

式中: N_1 为白天飞行次数(07:00-19:00); N_2 为傍晚飞行次数(19:00-22:00); N_3 为夜间飞行次数(22:00-07:00)。

2.2 存在不足

我国现行飞机噪声评价指标采用能量平均的思想,可以反映一昼夜噪声事件平均每秒对人的冲击,在单个噪声事件的计算时,考虑纯音修正,进行累积计算时,考虑到不同时间段飞行架次的权重,具有一定的科学性和合理性。但是仍然存在以下 2 点不足:

1) 难以与环境噪声评价指标横向比较,不便于理解。《声环境质量标准》(GB3096-2008)中规定,我国城市、乡村、及交通干线的噪声指标均是基于 A 声级的等效声级,并且分昼/夜等效声级,各类声环境功能区有不同的限值标准。而飞机噪声标准独立于声环境标准,采用 L_{EPN} 为单事件噪声,造成飞机噪声评价量难以与城市噪声、交通噪声等相互转化或进行综合分析。飞机噪声评价量是将机场噪声信息传达给公众的纽带,但是对于大部分公众,现行飞机噪声评价量是一个陌生、复杂的概念,在对机场周边居民的走访中,大多只对声环境标准有概念,而 L_{eq} 和 L_{WECPN} 不对等,这样会造成对机场噪声信息的错误理解,使标准执行力不足。

2) 对夜间噪声考虑不足。多频次、高噪声级的夜间飞行噪声对机场周边居民的唤醒率高,严重影响睡眠质量,长此以往,会对周边居民心理和生理造成无法估量的损害。虽然现行噪声评价标准对夜间噪声进行了噪声补偿:夜间1架次噪声等于白天10架次。但是,基于其等能量原理,还是无法体现飞机噪声声压级高、突发性的特点,削弱了夜间噪声对机场周边居民的影响。也就是说,即使噪声符合国家标准区域,部分机场仍然存在夜间噪声严重扰民的情况,仅用现有指标进行度量的结果不完全准确,需增加其他辅助指标加以补充。

2.3 指标改进

基于上述不足,建立以 L_{se} 为单事件噪声评价指标的新指标,同时增加夜间噪声评价指标作为补充。

1) 选取单事件噪声评价指标。声暴露级,同样是基于等能量原理,定义为:在保持声压级不变的情况下,持续时间为1s的A加权声级,声暴露级的能量值与实际获取的来自于某一噪声事件的噪声值相等^[10],可以直接测量、计算简便,如

$$L_{se} = 10 \lg \left[\int_{-\infty}^{+\infty} 10^{0.1(L_A(t))} dt \right] \quad (5)$$

式中: $L_A(t)$ 是A计权声压级。

2) 计算 N 个等效声级的能量平均值。参考计权等效连续感觉噪声级中 N 个有效感觉噪声级的能量平均值计算公式,可得到计算方法如

$$\bar{L}_{se} = 10 \lg \left[(1/N) \times \sum_{i=1}^N 10^{L_{se(i)}/10} \right] \quad (6)$$

3) 确立累积噪声事件评价新指标。有效感觉噪声级和暴露声级的换算关系为: $L_{EPN} \approx L_{se} + 3$,常数项可确定为37,同时保留原来的时间分段和噪声补偿。因而获得的新指标既能与环境标准相统一,又能利用原有噪声评价指标限值,具体如

$$L'_{WECPN} = \bar{L}_{se} + 10 \lg (N_1 + 3N_2 + 10N_3) - 37 \quad (7)$$

式中: N_1 为白天飞行次数(07:00-19:00); N_2 为傍晚飞行次数(19:00-22:00); N_3 为夜间飞行次数(22:00-07:00)。

4) 新增夜间噪声评价指标。为了不湮没夜间飞机噪声对人的影响,建立基于架次的夜间噪声评价指标,将夜间噪声分摊到每个航班;同时考虑到夜间飞行架次越多,对机场周边居民的干扰越大、唤醒率越高,对夜间飞行架次总量设置权重,参考噪声事件指数 NNI ,本文将权重设置为15。

新增夜间噪声评价指标如

$$\bar{L}_{eq,n} = 10 \lg \left[\frac{1}{N_3} \times \left(\sum_{i=1}^{N_3} 10^{L_{eq(i)}/10} \right) \right] + 15 \lg N_3 \quad (8)$$

式中: $L_{eq(i)}$ 为第 i 架次夜间飞行事件的声暴露级。

3 实例验证

本文以广州白云机场离场数据为例,结合MATLAB绘制指标改进前后累积事件噪声等值线图和夜间噪声等值线图,并计算噪声值和噪声影响面积。

3.1 数据准备

选取2015年8月1号广州白云机场VIBOS离场数据,该日天气情况良好,没有大面积航班延误等情况,可代表机场日常情况。离场航班总数为150架次,各时段主要机型统计如表2。

3.2 实例计算

3.2.1 改进后累积事件噪声评价指标

采用ECAC/CEAC Doc29提供的“飞机轨迹—网格化—斜距计算—NPD差值—修正计算—噪声事件累加”的累积事件噪声计算方法,利用MATLAB编程,绘制改进前累积事件噪声评价指标噪声等值线如图1,改进后如图2。根据我国《机场周围飞机噪声环境标准》,确定噪声影响面积计算范围为70~100 dB,计算最大噪声值和噪声影响面积汇总如表3。

表 2 不同时段主要机型离场架次统计表
Tab.2 The statistic data of main aircraft types at different time periods

时间	机型						
	A321	A320	B737	A333	B77W	B738	A319
07:00-19:00/架	13	18	8	5	2	18	8
19:00-22:00/架	3	4	3	3	2	7	0
22:00-07:00/架	1	13	3	1	4	2	2
合计/架	17	35	19	9	8	27	10
机型占比/%	14.2	29.2	11.5	7.5	6.7	22.5	8.4

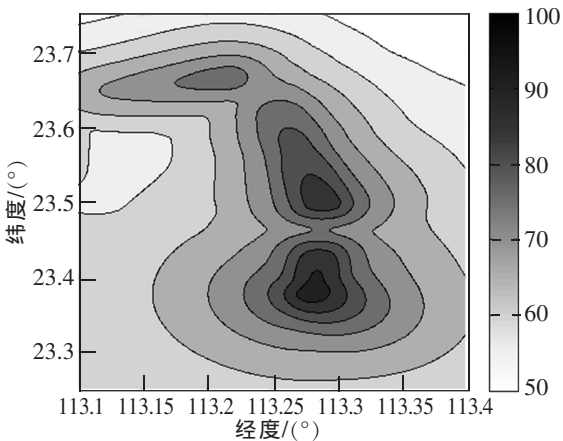


图 1 改进前噪声评价指标噪声等值线图
Fig.1 Noise contours of old noise metric

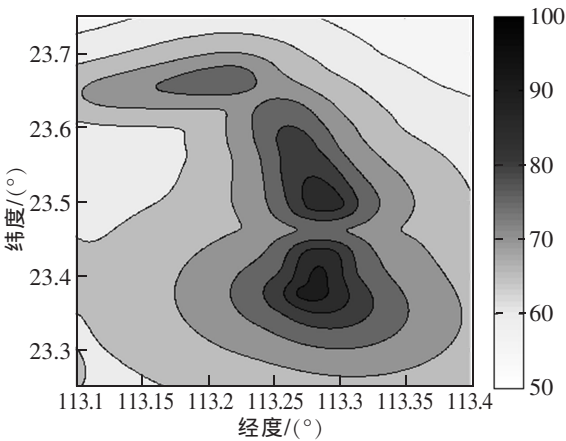


图 2 改进后噪声评价指标噪声等值线图
Fig.2 Noise contours of new noise metric

由图 1、图 2 可看出,改进前后的噪声评价指标噪声等值线差别不大;结合表 3 的计算数据,改进前后的最大噪声值和各个分贝值下的噪声影响面积十分相似。这就说明:改进后的噪声评价指标依然可以利用现行机场飞机噪声评价指标限值,且与声环境标准相统一,计算简便。

3.2.2 夜间噪声评价指标

据统计,夜间噪声飞行航班共有 26 架次,占离场航班总量的 17%,机型包括 A321、A320、A333、A319、B737、B738、B77W,绘制夜间噪声事件等值线如图 3。

表 3 最大噪声值及噪声影响面积汇总
Tab.3 Summary of maximum noise value and noise impact area

评价指标	最大噪声值/dB	噪声影响面积/km ²		
		≥70 dB	≥80 dB	≥90 dB
原指标	91.0	664	103	6.8
改进后指标	91.5	661	112	7.2
变化/%	0.5	-0.4	8.7	5.8

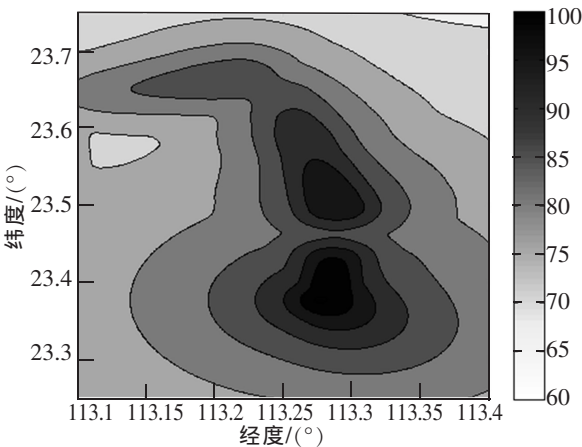


图 3 夜间噪声评价指标噪声等值线图
Fig.3 Noise contours of noise metric at night

对比图 1、图 3,可明显看出,虽然两者等值线轮廓相似,但夜间噪声等值线高分贝值覆盖情况远远高于改进前指标噪声等值线;计算夜间噪声最大值为 104.6 dB,较之改进前指标,夜间指标最大噪声增加

12.6 dB,导致出现 100 dB 以上的噪声影响面积,同时使 70~90 dB 的噪声影响面积呈现倍数级增长,分别是:5.5,9.7,28.0。为了更加直观地对比两者噪声影响,对比 75 dB 和 90 dB 的噪声等值线如图 4,图 5。

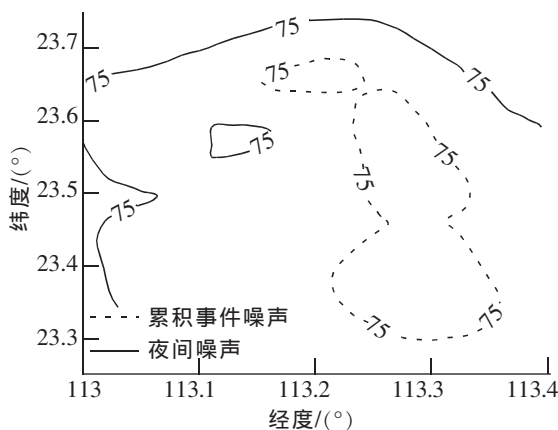


图 4 75 dB 噪声等值线对比

Fig.4 Comparison of noise contours in 75 dB

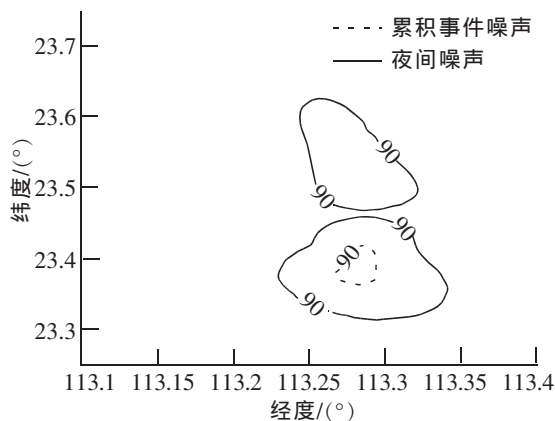


图 5 90 dB 噪声等值线对比

Fig.5 Comparison of noise contours in 90 dB

由图 4,图 5 可明显看出夜间指标噪声等值线覆盖面积远大于改进前指标,也就是说:很多情况下,按照噪声评价指标(24 h)计算结果虽然符合国家标准,但是夜间噪声对机场周边居民的实际影响远远高于标准,严重影响到机场周边居民的睡眠质量,造成机场周边居民抗议事件频发。在新建机场或者改扩建机场的时候,需要将夜间噪声纳入考量范围。本文新增的夜间噪声评价指标合理可行,具有参考价值。

4 结论

本文分析了国内外噪声评价指标研究现状,总结了评价指标制定的通式,针对我国噪声评价指标与环境标准不统一、忽略夜间噪声影响的问题,提出以声暴露级为单事件噪声评价指标,新增夜间噪声评价指标的改进思路,同时鉴于国内指标研究鲜有实例验证而造成指标应用性不强的问题,开展了实例分析,研究结论如下:

- 1) 改进后的累积事件噪声评价指标最大噪声值及噪声影响面积计算结果与改进前相近,可在不改变现行机场飞机噪声限值的前提下应用。
- 2) 改进后的累积事件噪声评价指标计算简便,且易与我国环境噪声指标相互转换,适用性强。
- 3) 新建的夜间噪声评价指标可很好地反映夜间噪声的实际影响,与改进前的指标相比,噪声级越高,噪声影响面积增长率越大。
- 4) 夜间噪声评价指标可在新建机场或者改扩建机场时提供一定参考。

参考文献:

- [1] GASCO L,ASENSIO C,DE A G. Communicating airport noise emission data to the general public[J]. Science of the Total Environment, 2017, 47(6): 836-848.
- [2] REVOREDO T C,SLAMA J G. Noise metrics comparison and its use on urban zoning in airport surveys;a brazilian case study[J]. Journal of Air Transport Management, 2008, 14(6): 304-307.
- [3] HELENO T A,SLAMA J G,BENTES F M. Analysis of airport noise through laeq, noise metrics[J]. Journal of Air Transport Management, 2014, 37(7): 5-9.
- [4] 薛渊,姚秀娟,闫国华. 机场噪声监测系统及评价指标分析[J]. 中国民航大学学报, 2006, 24(S1): 44-45.

- [5] 李玉文,张海军,王英伟,等. 机场航空噪声预测及方法改进[J]. 环境科学与管理,2008,33(4):167-169.
- [6] 杨冬青. 机场周围飞机噪声评价指标的应用及探讨[J]. 工业安全与环保,2011,37(8):33-35.
- [7] 李冉. 机场航空噪声预测及其影响因素研究[D]. 天津:中国民航大学,2008.
- [8] 武喜萍. 飞行程序噪声评价及减噪措施研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2010.
- [9] 王震. 机场航空噪声综合评价方法初探[J]. 科技风,2016,28(14):128-129.
- [10] 沈颖,陈荣生,吴新泉. 机场周围飞机噪声评价指标研究[J]. 东南大学学报:自然科学版,1999,29(5):126-130.
- [11] 王冬冬. 机场噪声评价指标分析与应用研究[D]. 天津:中国民航大学,2012.
- [12] 朱志聪,何光勤. 基于飞行程序的机场噪声评估[J]. 中国科技信息,2015,26(24):46-47.
- [13] 沈颖,陈荣生. 飞机噪声评价体系研究[J]. 公路交通科技,2000,16(4):73-76.
- [14] 李东亚,胡荣,许跃凤,等. 机场单噪声事件评估方法改进研究[J]. 噪声与振动控制,2016,36(6):111-115.

Research on Improving Aircraft Noise Metric of Cumulative Event

Xu Yuefeng, Hu Rong, Chen Lin, Zhang Feifei

(College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Reasonable selection of noise evaluation index is an important prerequisite for airport noise assessment and control. The typical noise evaluation indexes of some countries and regions were analyzed, and their commonalities and differences were summarized in this paper. To solve the problem that the weighted equivalent continuous perceived noise level in China was in disunity with the acoustic environment noise metric, a new noise metric of cumulative event was proposed. Aiming at the fact that the existing metrics, to a certain degree, neglect the influence of night noise event, a new night assessment metric was put forward. Finally, a case study based on the data of Guangzhou Baiyun International Airport was carried out to verify the effectiveness of the evaluation metrics. It maintains the results are of reference value.

Key words: air transportation; aircraft noise; cumulative event; evaluation index; night metric; instances verification

(责任编辑 姜红贵)