

(~~~



第 16卷 第 6期 2022 年 6月 Vol. 16, No.6 Jun. 2022

7 (010) 62941074

文章栏目:环境监测技术

http://www.cjee.ac.cn

DOI 10.12030/j.cjee.202202012 中图分类号 X84 文献标识码 A

何咏,李金玉,田岳林,等. 基于综合权重-TOPSIS 法的飞机噪声自动监测点位优化及效果对比[J]. 环境工程学报, 2022, 16(6): 2021-2031. [HE Yong, LI Jinyu, TIAN Yuelin, et al. Optimization and effect comparison of aircraft noise automatic monitoring sites based on comprehensive weight-TOPSIS[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2022, 16(6): 2021-2031.]

E-mail: cjee@rcees.ac.cn

基于综合权重-TOPSIS 法的飞机噪声自动监测点 位优化及效果对比

何咏^{1,2},李金玉^{1,2},田岳林^{1,2},高成杰^{1,2},钱靖华^{1,2},杨永强^{1,2,∞}

1.北京市生态环境保护科学研究院,北京100037; 2.国家城市环境污染控制工程技术研究中心,北京100037

摘 要为克服飞机噪声监测系统传统布点方式存在的主观偏差,通过有限的监测点位实现监测系统代表性、 有效性和经济性的最大化,采用综合权重-TOPSIS法对监测点布设位置与数量进行优化;基于机场布局、飞机 噪声等值线、交通干线、土地利用及行政区划等机场所在区域相关信息空间叠图,构建机场噪声评价指标体 系;结合决策群体主观偏好与指标表征数据的熵权,应用综合权重-TOPSIS法对某大型机场飞机噪声自动监测 点位进行优化。结果表明:指标体系主要参考因素是飞机噪声等值线距离(指标②)、噪声敏感度(指标①)和主 航迹线距离(指标③),综合权重值分别为0.327、0.293和0.221;拟选监测点位指标①、②、③的相对贡献率变 化较大,说明点位受噪声敏感度、飞机噪声影响差异性大;根据相对最优贴近度值,将20个拟选点位优化为 12个点位,与物元可拓法、最优指标法点位重复率分别为66.7%、75.0%,综合权重-TOPSIS法对飞机噪声等值 线距离(指标②)和主航迹线距离(指标③)的优化效果均为最好。本研究成果可为飞机噪声自动监测体系标准化 建设提供参考。

关键词 飞机噪声;自动监测;点位优化;综合权重; TOPSIS

随着机场建设规模和飞行覆盖范围的逐年扩大,飞机噪声污染扰民事件日益严重。作为飞机 噪声管控的重要基础措施,飞机噪声自动监测系统已在国内外众多机场得到应用^[1-4],而最新公布 的《中华人民共和国噪声污染防治法》也明确提出"对机场周围民用航空器噪声进行监测"。飞机 噪声监测点位布设往往与机场规模、地形地貌、周边功能区分布等因素密切联系^[5-7]。方孝华等^[8] 提出,对拟设点位周边噪声污染状况、人口、建筑物和地形以及气象条件等因素,应按相关要求 进行优化。面对飞机噪声污染频发又无法对所有声环境敏感点实现自动监测的境况,如何实现飞 机噪声自动监测点位决策优化,通过有限的监测点位实现监测系统代表性、有效性和经济性的最 大化,是当前亟需解决的现实问题。目前,用于噪声监测点位优化的研究方法较多,但飞机噪声 监测点位的优化尚未形成一套成熟完善的标准体系^[9-11]。已有的机场噪声监测优化研究方法 (如蜂 群算法、最小定点覆盖模型等^[12-13])主要从传感器网络节点部署和区域覆盖的角度进行优化,未考 虑周边环境敏感点影响指标。现状机场周边环境敏感点的监测布设大多通过敏感点手工噪声监测 值比较以及专家经验易受主观因素影响,存在判定标尺不一等问题。

收稿日期: 2022-02-08; 录用日期: 2022-03-26

第一作者:何咏(1985—),女,硕士,高级工程师,hy1759@163.com; **凶通信作者:**杨永强(1978—),男,硕士,高级工程师, yangyongqiang@cee.cn

环境监测布点受影响源位置、源强、影响途径、受体特征等多个属性影响,点位优化属于多 属性决策问题,属性权重的合理确定对决策结果的准确性至关重要。目前,获得权重的方法主要 包括主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法即决策者根据主观偏好给出属性权重,通常具有主观 偏差性;而客观权重是基于客观信息矩阵,再通过最小平方法^[14]、熵权法^[15]等进行权重向量求 解,受信息数量与数值大小影响,对于表现稳定的重要性指标或表现不稳定的非重要性指标,容 易导致权重信息损失。有研究^[16-18]表明,通过主观与客观权重相结合获得综合权重的方式,可在 一定程度上避免权重损失。

目前,监测点位优化决策的常用评价和优化方法有 TOPSIS 法^[19-20]、物元可拓法^[21-22]、最优指标法^[23]等。TOPSIS 法^[24]通过评价目标属性信息与最优解、最劣解距离来进行排序或通过接近程度进行优化;物元可拓模型^[25]通过构造目标物元矩阵和可拓节域物元矩阵,建立可拓集与目标物元 集之间的关联函数,计算方法较复杂;最优指标法^[23]通过评价目标属性信息与最优水平的接近程度来进行决策,计算方法简便,但未考虑属性最劣水平,在属性最劣水平差异较大的情况下,会导致评价结果具有一定偏差。综上所述,本研究以国内某新建大型机场飞机噪声自动监测点位布设为研究实例,构建以拟选点位的噪声敏感度、噪声等值线距离、主航迹线距离以及交通干线干扰等属性为指标的评价体系,将综合权重-TOPSIS 法应用于监测点位评价优化过程,并从点位空间和指标数据分布的角度对方法可行性和优劣性进行定量分析,旨在为优化飞机噪声自动监测点位及完善监测方法体系建设提供参考。

1 研究区域概况

研究区域为某新建大型机场所在地,该区域以浅丘宽谷地貌为主,地形起伏不大,机场周边 用地多为荒地、耕地、农田、鱼塘等,并分布有多个乡镇和村庄。机场近期规划目标:2025年满 足年旅客吞吐量4000万人次、飞机起降量32万架次、3条跑道,跑道走向为2条南北方向和1条 东西方向。机场区域飞机噪声信息空间叠加示意图如图1所示。

由图1及现场调查数据可以看出,飞机噪声为70dB以上区域涉及声环境敏感点约600处,包含居民区约550处(约4万户、13.5万人)、文教卫生设施约50处。

2 研究方法

2.1 评价指标的选取与量化

以提升飞机噪声监测点位的代表性和有效性为目标,重点监测居住、文教区,兼顾行政办 公、社会服务等区域,并排除交通噪声干扰因素,在网格布点和空间叠图分析基础上,选取北跑 道周边20个拟选点位作为评价对象,以点位的噪声敏感度、飞机噪声等值线距离、主航迹线直线 距离与交通噪声影响作为优化评价指标,评价指标含义与属性见表1。

根据城乡用地类型、噪声控制区级别以及受影响人群规模,对点位噪声敏感度进行量化赋值,结果见表2。

根据表1中指标的含义和表2中的数据,对拟选监测点位的噪声敏感度、飞机噪声等值线距 离、主航迹线直线距离与交通噪声影响4个指标进行量化,得出点位指标值,结果见表3。

2.2 综合权重-TOPSIS 法的优化流程及步骤

为克服飞机噪声监测系统传统经验布点方式存在的主观偏差,实现通过有限的监测点位实现 监测系统代表性、有效性和经济性的最大化的目标,本研究基于机场布局、飞机噪声等值线、交 通干线、土地利用及行政区划等机场所在区域相关信息空间叠图,构建以拟选点位的噪声敏感 度、噪声等值线距离、主航迹线距离以及交通干线干扰等属性为指标的评价体系,结合机场管理 者、专家学者以及周边居民等决策群体的主观偏好与指标属性表征数据的熵权得出综合权重,并





Fig. 1 Schematic diagram of spatial superposition of regional aviation noise information

秋 1 月月日か百天う丙日

Table 1	Implication	and attribute	of evaluation	index
---------	-------------	---------------	---------------	-------

指标代码	评价指标	指标表征	指标属性
1	噪声敏感度	监测点位所在地用地类型与噪声控制区级别	收益型指标
2	飞机噪声等值线距离	监测点位与飞机噪声等值线的直线最短距离	成本型指标
3	主航迹线距离	监测点位与最近一条主航迹线的直线最短距离	成本型指标
4	交通噪声影响	监测点位与交通干线(道路/轨道)的直线最短距离	收益型指标

将 TOPSIS 法引入监测点位评价优化过程,对飞机噪声自动监测点位布设位置与数量进行优化,优 化流程如图 2 所示。

综合权重-TOPSIS 法优化流程主要包括初始矩阵归一化、客观权重计算、主观权重计算、综合权重确定、排序与分组以及指标相对贡献率 6 个步骤。

1) 初始矩阵归一化。根据表 3 数据构建初始矩阵,对于数值越大越优的收益型指标,归一化处理方程如式 (1) 所示;对于数值越小越优的成本型指标,归一化处理方程如式 (2) 所示。

表 2 噪声敏感度量化赋值

Table 2 Quantification value of noise sensitivity

噪声敏感度	城乡用地类型	噪声控制区级别	受影响人群数量/人	量化赋值
敏感	居民住宅、教育科研、医疗卫生等	1	≥500	10
敏感	居民住宅、教育科研、医疗卫生等	1	100~500	9
敏感	居民住宅、教育科研、医疗卫生等	1	<100	8
较敏感	行政办公、文化艺术、商业服务等	2	≥100	6
较敏感	行政办公、文化艺术、商业服务等	2	<100	5
较不敏感	工业生产、物流仓储、体育娱乐、公园广场等	3	_	3
不敏感	农业生产、矿业生产、交通设施、公用设施等	4	_	1

注:噪声敏感度和城乡用地类型参照《机场周围飞机噪声环境标准》(GB 9660-1988)^[26]和美国联邦航空局(FAA)提出的《机场噪声相容性规划》进行分类;量化赋值按受飞机噪声影响度的高低加以确定。

								_	
点位编号	噪声敏感度	飞机噪声等值线	主航迹线	交通噪声影响	点位编号	噪声敏感度	飞机噪声等值线	主航迹线	交通噪声影响
	(指标①)	距离(指标②)	距离(指标③)) (指标④))		(指标①)	距离(指标②)	距离(指标③)) (指标④))
E01	5	2.630 0	1.310 0	0.200 0	E11	3	10.250 0	0.225 0	0.200 0
E02	8	0.500 0	0.075 0	0.200 0	E12	9	11.160 0	0.463 0	0.200 0
E03	5	0.500 0	0.067 5	0.200 0	E13	10	11.290 0	0.556 0	0.200 0
E04	8	0.300 0	0.022 5	0.100 0	E14	10	10.880 0	0.463 0	0.200 0
E05	8	0.281 0	0.788 0	0.200 0	E15	5	0.728 0	0.894 0	0.200 0
E06	5	0.844 0	1.010 0	0.200 0	N06	9	0.600 0	0.012 0	0.200 0
E07	6	0.281 0	0.612 0	0.200 0	N07	8	0.282 0	0.206 0	0.150 0
E08	6	15.380 0	0.225 0	0.200 0	N08	5	1.880 0	0.263 0	0.200 0
E09	8	13.310 0	0.327 0	0.200 0	N09	5	2.340 0	0.327 0	0.200 0
E10	5	14 160 0	0 498 0	0 200 0	N10	8	1 690 0	0 225 0	0 120 0

表 3 拟选监测点位指标量化值 Table 3 Ouantitative value of indicators of monitoring points

注:1)参照《公路建设项目环境影响评价规范》(JTG B03-2006)^[27],交通噪声影响在路中心线两侧各200 m范围内,故指标④忽略 与交通干线距离大于200 m点位的实际距离,表征值均取200 m。

$$r_{ij} = \frac{s_{ij} - \min_{j}(s_{ij})}{\max_{j}(s_{ij}) - \min_{j}(s_{ij})}$$
(1)

$$r_{ij} = \frac{\max_{j} (c_{ij}) - c_{ij}}{\max(c_{ij}) - \min(c_{ij})}$$
(2)

式中: *s_{ij}*为第*i*个收益型指标的第*j*个值; *c_{ij}*为第*i*个成本型指标的第*j*个值; *r_{ij}*为第*i*个指标的第 *j*个数据归一化处理后的值。

2) 客观权重计算。采用熵权法计算指标表征数据的客观权重, 熵权计算方程如式 (3)~式 (6) 所示。

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} r_{ij}}$$
(3)

$$k = \frac{1}{\ln n} \tag{4}$$





Fig. 2 Flow chart based on comprehensive weight-TOPSIS method of aircraft noise automatic monitoring

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}$$
⁽⁵⁾

$$w_{i} = \frac{1 - H_{i}}{m - \sum_{i=1}^{m} H_{i}}$$
(6)

式中: *H*_i为第 *i* 个指标的熵; *w*_i为第 *i* 个指标的权重值; *m* 为评价指标个数; *n* 代表监测点位个数; *i*=1,2,...,*m*; *j*=1,2,...,*n*。

3) 主观权重计算。建立决策群对评价指标的主观偏好权重矩阵[G],采用式(3)~式(6) 计算得出 评价指标基于主观偏好矩阵的熵权U_i,该熵权值代表指标主观权重的一致程度。当U_i > 1/m 时,代 表决策群对该指标主观权重有较一致的评价,可将该指标的主观权重值取其平均主观权重值Uⁱ_i, 计算方程如式(7)所示;当U_i ≤ 1/m 时,代表决策者对该指标主观权重评价不一致,此时,根据式 (8) 得到该指标的主观权重值Ui

$$U_{i}^{'} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{n} g_{ij}$$
(7)

$$U_{i}^{"} = \frac{\left(U_{i} + \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{n}g_{ij}\right)w_{i}^{'}}{\sum_{r=1}^{k}\left(U_{i} + \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{n}g_{ij}\right)}$$
(8)

式中:w_i为剩余权重; k为主观权重评价不一致的指标个数; r=1,2,...,k; g_{ij}为第 i 个决策者对第 j 个指标的主观权重值; m 为决策者个数; n 为评价指标个数; i=1,2,...,m; j=1,2,...,n。

4)综合权重确定。根据评价指标属性分别给出客观权重系数 a 与主观权重系数 b, 权重系数 a、b 值根据 2 种权重差异性判定进行调整:当指标权重较大且 2 种权重值差异性大于 50% 时,认为指标的客观权重损失部分权重信息,此时以主观权重值为主,主权重系数 a>0.5;当 2 种权重值 差异性均小于 50% 时,可认为指标的客观权重没有损失较大权重信息,以客观权重为主,客观权 重系数 b>0.5。综合权重计算方法如式 (9) 所示。

$$\partial_i = aw_i + bU'_i(\vec{u}U''_i) \tag{9}$$

式中: ∂_i 为综合权重;a为客观权重系数;b为客观权重系数;a+b=1。

5) 排序与分组。根据综合权重得到加权矩阵后,计算每个监测点位的相对最优贴近度*d*_{irel},计算方程如式 (10) 所示。

$$d_{\text{irel}} = \frac{d_{\text{io}}}{d_{\text{io}} + d_{\text{iw}}} = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^{n} (Z_{ij} - P_{jo})^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n} (Z_{ij} - P_{jo})^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (Z_{ij} - P_{jw})^2}}$$
(10)

式中: *P_{jo}*为加权矩阵中指标最大值; *P_{jw}*为加权矩阵中指标最小值; *Z_{ij}*为第*j*个监测点位的第*i*个指标加权值; *m*为评价指标个数; *n*代表监测点位个数; *i*=1,2,...,*m*; *j*=1,2,...,*n*。

按照相对最优贴近度值由小至大进行排序(值越小越优),排序后的数据集通常在上、下四分 位数区间之外的数据离散程度较高,因此,在确定组数时,为使离群值得到有效分组,以上、下 四分位数为界限,采用数量标志分组法^[28-29],分别确定各数据集的组数与组距。

6) 指标相对贡献率。计算每个监测点位上每项指标与最劣点位相应指标的相对距离,并根据 该距离占比确定指标相对贡献率,计算方程如式(11)所示。

$$C_i = \frac{Z_{ij}}{\sum_{j=1}^n Z_{ij}} \tag{11}$$

式中: C_i为指标相对贡献率; Z_{ii}为第 j 个监测点位的第 i 个指标加权值。

3 结果与讨论

3.1 指标权重

经计算,分别得出指标的主、客观权重 值(表4)。2种权重值差异性均小于50%时, 可认为本研究实例中各项指标的客观权重信息 没有较大损失,因此,以客观权重为主,对 主、客观权重分别取系数0.3和0.7,得出指标

表4 指标权重值

Table 4 Weigth value of the index

权重 类型	噪声敏感度 (指标①)	飞机噪声等值线 距离(指标②)	主航迹线距离 (指标③)	交通噪声影响 (指标④)
客观	0.296	0.348	0.196	0.159
主观	0.287	0.278	0.280	0.155
综合	0.293	0.327	0.221	0.158

综合权重值(表4)。

由表4可看出:噪声等值线距离(指标②)的熵权值相对最大,其次是主航迹线距离(指标 ③);而根据主观偏好权重值,噪声敏感度(指标①)是监测点位选取时的主要参考因素,其次则是 主航迹线距离(指标③)和噪声等值线距离(指标②);综合权重后,主要参考因素是飞机噪声等值 线距离(指标②)、噪声敏感度(指标①)和主航迹线距离(指标③)。

3.2 监测点位的优化结果

监测点位的相对最优贴近度值越低,则代表点位可选性越强,即点位所在地噪声敏感度更高,受飞机噪声影响更大,同时受交通干线干扰小。根据相对最优贴近度值排序并分组后,处于同一组中的点位综合评价结果相近,可进一步结合各点位指标相对贡献率、社会经济因素及现场安装条件等从同组中进行点位优选。研究实例的噪声自动监测点位最优贴近度、指标相对贡献率及优化结果见表 5。

由表 5 可看出,监测点位飞机噪声等值线距离(指标②)相对贡献率的标准偏差最大,其次为 噪声敏感度(指标①)和主航迹线距离(指标③)。这说明,指标①、②、③的相对贡献率变化较 大,点位的噪声敏感度和受飞机噪声影响的差异性大;交通噪声影响(指标④)对多数点位相对贡

		具件	指标相对贡献率/%						
序号 点位编号	号 ^{取11} 「 市 市 市 市 市 市 市 市	噪声敏感度	飞机噪声等值线	主航迹线距离	交通噪声影响	点位分组	优选结果		
			(指标①)	距离(指标②)	(指标③)	(指标④)			
1#	N06	0.079 756	26.41	33.66	23.27	16.65	N06	N06	
2#	E02	0.153 571	23.24	35.79	23.38	17.59	E02、N07	E02、N07	
3#	N07	0.214 641	26.04	40.68	23.42	9.85	E02、N07	E02、N07	
4#	E05	0.267 548	26.71	41.73	11.36	20.21	E05、N10	E05	
5#	N10	0.280 259	28.97	41.04	25.61	4.38	E05、N10	E05	
6#	E04	0.286 703	27.70	43.23	29.06	0	E04	E04	
7#	E07	0.327 761	17.20	44.80	16.30	21.70	E07、E03、N08	E07、E03	
8#	E03	0.330 112	10.78	41.52	27.29	20.40	E07、E03、N08	E07、E03	
9#	N08	0.358 888	11.74	41.01	25.04	22.21	E07、E03、N08	E07、E03	
10#	N09	0.370 972	12.10	40.80	24.22	22.88	N09、E14	N09	
11#	E14	0.391 745	42.26	14.06	20.83	22.85	N09、E14	N09	
12#	E15	0.409 924	13.28	50.34	11.25	25.13	E15、E13、E12、E06	E15、E13	
13#	E13	0.410 205	43.83	13.25	19.23	23.69	E15、E13、E12、E06	E15、E13	
14#	E12	0.423 196	38.92	14.16	22.38	24.54	E15、E13、E12、E06	E15、E13	
15#	E06	0.424 668	13.77	51.77	8.41	26.05	E15、E13、E12、E06	E15、E13	
16#	E01	0.484 069	16.15	53.28	0	30.56	E01、E09	E01	
17#	E09	0.487 431	36.08	7.73	28.89	27.30	E01、E09	E01	
18#	E08	0.573 980	26.78	0	39.45	33.77	E08、E11	E08	
19#	E11	0.577 418	0	24.45	40.71	34.85	E08、E11	E08	
20#	E10	0.622 275	20.57	6.49	34.02	38.92	E10	_	

表 5 监测点位最优贴近度、指标相对贡献率及优化结果 Table 5 Monitoring sites ranking, index contribution rate and optimization results

注: 4个指标相对贡献率的标准偏差依次为指标① 11.53、指标② 16.70、指标③ 9.96、指标④ 9.52。

献率较高,这说明多数点位受交通噪声影响较小;随着点位最优贴近度值增加,交通噪声影响(指标④)相对贡献率呈增加趋势,这主要与指标①、②、③相对贡献率之和呈下降趋势有关,相应点位的综合可选性变弱。

在优化组点位筛选过程中,每个优化组排序靠前的点位是否作为优化结果,还应综合考虑点 位设置条件及其空间位置等实际情况。例如,2[#]和3[#]点位(E02+N07组合)的最优贴近度值跨度较 大,重要指标②、①和③相对贡献率均较高,故2个点位均列入优化结果;E05+N10组合中E05的 重要指标①和③相对贡献率虽低于N10的7.8%、55.6%,但其空间代表性更强,而N10受交通噪声 影响较大,可由相近点位N07、N09所代替,同类型的优化组还有E01+E09组合。因此,该方法点 位优化过程可结合实际需求加以调控,同时也符合机场管理部门对于噪声监测系统规划分期实施 计划及成本控制的要求。研究区域飞机噪声自动监测点位优化结果空间分布见图3。



图 3 飞机噪声自动监测点位优化结果空间分布示意图 Fig. 3 Aircraft noise automatic monitoring optimization results

3.3 点位方案的比对

本研究采用物元可拓法、最优指标法对监测点位方案进行对比分析。为保证结果的可比性, 2种比对方法均采用表4中的综合权重值,优化得出12个监测点位,与TOPSIS法优化结果进行对 比分析,得出韦恩图(图4)。

由图 4 可以看出, TOPSIS 法优化后的点位均在 2 种或 3 种优化方法的交集中; TOPSIS 法与物 元可拓法有 8 个相同点位,点位重复率为 66.7%; TOPSIS 法与最优指标法有 9 个相同点位,点位 重复率为 75.0%; 3 种方法共同的点位有 5 个,占点位总数量的 41.7%。3 种方法优化结果具有较高

重复率且有一定差异,导致差异的原因主要有 2个方面:一是距离测度算式不同,TOPSIS法 是基于欧几里德范数,物元可拓法是基于点到 区间的距离,最优指标法是基于与最优指标的 比值;二是选取的参照点不同,TOPSIS法参 照点是理想的优劣解,物元可拓法参照点是区 间值,最优指标法参照点是最优值。3种优化 方法均考虑各项评价指标的影响,与其他2种 方法相比,TOPSIS法通过评价点位与最优 解、最劣解的距离进行排序,从而实现兼顾周 边敏感点集中区、飞机噪声和环境噪声监测点 位的代表性,更符合飞机噪声监测点位的功能 需求。

由于指标值归一化处理后均转化为收益型 指标,即越大越好,因此,在满足点位代表性 的前提下,指标归一化值分布整体越高,表明 该方案更优。对3种优化方法点位方案与原点 位方案的指标值(归一化处理值)分布情况进行 对比,结果见图5。

由图 5 可看出:在原方案中,飞机噪声等 值线距离(指标②)的归一化值分布范围最宽, 其次是噪声敏感度(指标①)和主航迹线距离 (指标③);对于交通噪声影响(指标④),由于 多数点位受交通噪声影响均较小,总体分布集 中。3 种优化方案的指标归一化值分布均优于









原方案。物元可拓法对噪声敏感度(指标①)的优化效果最好,中值和均值分别比原方案提高 25.0%和9.6%; TOPSIS 法对飞机噪声等值线距离(指标②)和主航迹线距离(指标③)的优化效果均 为最好,中值分别比原方案提高9.1%和5.3%,均值分别比原方案提高19.6%和0.4%,说明 TOPSIS 法优化方案的指标归一化值分布整体上最高。

从优化点位的空间分布来看,TOPSIS 法兼顾到点位的噪声敏感度、飞机噪声级和航迹等重要因素,在筛选出重要监测点位的同时也考虑到空间分布的合理性,如在城区设置的 E13 点位,优于物元可拓法、最优指标法设置的 E12+E14、E13+E14 组合,将有限点位的技术经济效益趋于最大化。综上分析,TOPSIS 法的点位优化方案总体效益最佳,兼顾敏感点位决策的客观性与不同监测目标的代表性,可用于飞机噪声自动监测系统工程设计及点位优化。

4 结论

1)应用综合权重-TOPSIS 法对研究区域飞机噪声自动监测点位进行优化,综合权重值最大的 3个指标是飞机噪声等值线距离(指标②)、噪声敏感度(指标①)和主航迹线距离(指标③),分别为 0.327、0.293 和 0.221。根据相对最优贴近度值,将 20 个拟选点位优化为 12 个点位,经优化点位数 量减少 40.0%,从而实现对飞机噪声自动监测点位布设位置与数量的决策优化,可为飞机噪声监管 及成本控制提供技术支持。

第6期

2)综合权重-TOPSIS法与物元可拓法、最优指标法的点位重复率分别为66.7%、75.0%,且对 飞机噪声等值线距离(指标②)和主航迹线距离(指标③)的优化效果均为最佳,3种方法共同点位 数占总点位数的41.7%。与其他2种方法相比,TOPSIS法通过评价点位与最优解、最劣解的距离 进行排序,更符合飞机噪声监测点位的功能需求。

3)综合权重-TOPSIS 法对飞机噪声等值线距离(指标②)和主航迹线距离(指标③)的优化效果 均为最好,中值分别比原方案提高 9.1%和 5.3%,均值分别比原方案提高 19.6%和 0.4%。这说明 TOPSIS 法的点位优化方案总体效益最佳,优化结果客观有效,可用于飞机噪声自动监测系统工程 设计及点位优化。

参考文献

- [1] 顾徐衡,张佳萍. 浅谈中国机场噪声监控系统的发展[J]. 环境监控与 预警, 2017, 9(4): 62-66.
- [2] 闫国华,李启龙.单机飞机噪声等值线面积与测量点噪声级关系[J].
 环境工程学报, 2017, 11(8): 4881-4887.
- [3] 龚辉,王巧燕.机场航空噪声监测终端选址方法和实践[J].噪声与振 动控制,2013,33(1):140-142.
- [4] 余成轩. 机场航空噪声监测系统及其作用[J]. 中国民航大学学报, 2012, 30(6): 71-74.
- [5] 王文团,郑雁,王文雷,等.飞机噪声对机场周围敏感区域影响的探讨
 [J].噪声与振动控制,2006,26(5):107-110.
- [6] 王文团,李恒庆,卢守舟,等.机场周围飞机噪声影响规律的研究[J]. 中国环境监测,2008,24(6):92-95.
- [7] 符江涛. 机场周围飞机噪声测量的影响因素分析[J]. 中国环境监测, 2016, 32(4): 126-129.
- [8] 方孝华, 陈潇江. 功能区噪声自动监测点位布设探讨[J]. 环境监控与 预警, 2010, 2(4): 23-25.
- [9] 田岳林,李金玉,韩雨婧,等.机场噪声自动监测系统应用现状与前景 展望[J].环境监控与预警,2021,13(4):59-66.
- [10] 申旭辉. 机场环保验收的噪声监测方法探讨[J]. 噪声与振动控制, 2011, 31(4): 115-118.
- [11] 王暾. 机场飞机噪声自主验收监测难点与解决对策探讨[J]. 中国环境 监测, 2020, 36(3): 127-131.
- [12] 丁文婷, 徐涛, 杨国庆. 单个飞机噪声事件最小顶点覆盖模型的机场 噪声监测点分布方法[J]. 噪声与振动控制, 2012, 32(3): 166-170.
- [13] 丁建立,朱德龙,陈蓉.基于蜂群理论的机场噪声监测点布局优化方法[J]. 计算机与数字工程, 2014, 42(5): 743-746.
- [14] CHU A T W, KALABA R E, SPINGARN K. A comparison of two methods for determining the weights of belonging to fuzzy sets[J]. Journal of Optimization Theory & Applications, 1979, 27(4): 531-538.
- [15] 周荣喜,何大义,徐建荣.基于决策者偏好的区间型属性熵权确定方 (责任编辑:郑晓梅)

法[J]. 运筹与管理, 2010, 19(1): 60-64.

- [16] 周荣喜, 范福云, 何大义, 等. 多属性群决策中基于数据稳定性与主观 偏好的综合熵权法[J]. 控制与决策, 2012, 27(8): 1169-1174.
- [17] 苏律文,杨侃,邓丽丽,等. 主观偏好和改进熵权的TOPSIS法在长江 中游水库多目标调度中的应用[J]. 水电能源科学, 2018, 36(9): 76-80.
- [18] 蒋艳君,谢悦波,黄旻.基于改进TOPSIS法的水质监测断面优化研究[J].南水北调与水利科技,2016,14(5):78-82.
- [19] 许丽忠,张江山,王菲凤. 嫡权多目标决策环境监测优化布点模型及应用[J]. 环境工程,2007,25(1): 61-63.
- [20] 冯光文, 胡有华, 刘茜. 嫡权TOPSIS法在新疆辐射环境监测优化布点 中的应用[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2009, 27(5): 269-274.
- [21] 钱琪所,林秀珠.城市噪声监测优化布点研究[J].环境科学导刊, 2015, 34(4): 112-117.
- [22] 谢永霞, 胡素霞, 叶晓彬. 物元分析进行噪声监测优化布点[J]. 河南师 范大学学报(自然科学版), 2001, 29(1): 70-73.
- [23] 张苗云, 张迎, 钱益跃. 最优指标法在环境监测优化布点中的应用[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(2): 66-67.
- [24] HWANG C L, YOON K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1981.
- [25] 谢伊涵,李根,杨梦杰,等.基于PSR和物元可拓模型的跨界河流健康 评价:以太浦河干流为例[J].华东师范大学学报(自然科学版), 2020(1):110-122.
- [26] 国家环境保护局:机场周围飞机噪声环境标: GB 9660-1988[S].北京: 中国环境科学出版社, 1988.
- [27] 中华人民共和国交通部:公路建设项目环境影响评价规: JTG B03-2006[S]. 北京:人民交通出版社, 2006.
- [28] 秦铁山. 浅论按数量标志分组时的组数和组距[J]. 鞍山钢铁学院学报, 1993, 16(1): 42-45.
- [29] 王友胜. 淮河流域黄泛区风水侵蚀格局及其驱动因子研究[D]. 济南: 山东农业大学, 2012.

Optimization and effect comparison of aircraft noise automatic monitoring sites based on comprehensive weight-TOPSIS

HE Yong^{1,2}, LI Jinyu^{1,2}, TIAN Yuelin^{1,2}, GAO Chengjie^{1,2}, QIAN Jinghua^{1,2}, YANG Yongqiang^{1,2,*}

 Beijing Municipal Research Institute of Eco-Environmental Protection, Beijing 100037, China; 2. National Engineering Techniques Research Center of Urban Environmental Pollution Control, Beijing 100037, China
 *Corresponding author, E-mail: yangyongqiang@cee.cn

Abstract In order to overcome the subjective bias of traditional site layout of aircraft noise monitoring system, the comprehensive weight TOPSIS method was used to optimize the layout position and quantity of monitoring points to realize the representativeness, effectiveness and economy of the monitoring system. Based on the spatial overlay of information, such as airport layout, aircraft noise contours, traffic arteries, land use, and administrative divisions, etc.. the evaluation index system for airport environmental noise was constructed. Combined with the entropy weight of decision-making group's subjective preferences and the index representation data, the comprehensive weight-TOPSIS method was used to optimizing aircraft noise automatic monitoring sites at a big airport. The results showed that the main reference factors were index (2): aircraft noise contour distance, index ①: noise sensitivity and index ③: main flight path line distance, the comprehensive weights were 0.327, 0.293 and 0.221, respectively. The relative contribution rates of the above index at these proposed monitoring sites changed greatly, indicating there were relatively big differences in noise sensitivity and aircraft noise among these points. According to the relative optimal closeness value, the 20 proposed points were optimized to 12 points, in which the point repetition rates of the matter-element extension method and the optimal index method were 66.7% and 75.0%, respectively. After the normalization of the index values, the comprehensive weight-TOPSIS method had the best optimization effects on index (2) and index (3). The research results can provide a reference for the standardization construction of the aircraft noise automatic monitoring system.

Keywords aircraft noise; automatic monitoring; position optimization; comprehensive weight; TOPSIS