

基于BWM-VIKOR模型的绿色机场评价

陈恒¹, 于剑², 陈保秀^{1,3}

(1. 中国民航大学交通科学与工程学院, 天津 300300; 2. 中国民航管理干部学院, 北京 100102;
3. 中国民航环境与可持续发展研究中心, 天津 300300)

摘要: 随着国内机场数量和规模的不断扩张, 引发了能源过度消耗以及对环境产生不利影响等问题。然而, 目前关于绿色机场的评价研究主要侧重于运营阶段, 对全生命周期内的绿色机场综合评价还未得到充分深入的研究。鉴于此, 从全生命周期的角度, 采用最优最劣法(BWM)构建绿色机场评价指标体系, 进一步运用多准则妥协解排序(VIKOR)法, 对实际机场进行综合评估, 明确当前机场在绿色发展阶段中存在的优缺点。研究表明, 绿色机场高质量建设和发展需要在全生命周期内以资源节约、环境友好、健康舒适和运行高效为引领, 从而实现机场的可持续发展。

关键词: 绿色机场; 全生命周期; 最优最劣法(BWM); 多准则妥协解排序(VIKOR)法; 评价模型

中图分类号: [U8] **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)21-0205-07

近年来, 航空业蓬勃发展, 机场数量和规模不断扩张, 进而导致机场与周边环境之间的相互影响日益显著且变得更为复杂。民用机场作为航空运输和城市建设的重要基础设施, 具备明显的实用性和功能性, 并拥有较长的生命周期, 涵盖选址、规划设计、施工、运营和废弃拆除等多个关键阶段。机场作为能源密集型区域, 其能耗持续增长, 碳排放总量也呈现持续增加的趋势, 由此带来了资源过度消耗和气候问题不断加剧等复杂现象。有研究表明, 一个大型机场的能源消耗相当于一个拥有 10 万人口的城市^[1]。这样的局面引发了对机场可持续发展的日益关注, 迫切需要采取措施降低其对能源的依赖、减轻其对环境的影响, 并实现可持续发展目标。

为深入了解机场在各个生命周期阶段的环境影响和资源利用情况, 运用 BWM(最优最劣法)-VIKOR(多准则妥协解排序)法, 并在此基础上创新性地构建绿色机场评价指标体系, 从而准确衡量绿色机场的发展水平, 明确当前机场在全生命周期绿色发展过程中存在的优缺点, 方便各大机场互相借鉴和学习, 推动机场朝着可持续发展的方向迈进, 并为绿色机场的建设和管理提供科学依据。

1 绿色机场评价研究现状

1.1 绿色机场评价指标体系研究现状

长期以来, 许多国家、组织协会和研究学者等采用了很多框架和方法对绿色机场或者可持续发展机场进行了评价, 根据机场的发展和所处的国际背景会有不同的诠释, 评价的角度也不尽相同。宋文等^[1]从经济、环境、社会 3 个模块构建了机场可持续发展评价指标体系。美国绿色建筑评级体系依据建筑生命周期的不同阶段、不同性质进行评价^[2-3]。程伦^[4]以全生命周期的绿色机场作为研究对象, 建立了绿色机场评价的模糊综合评价模型, 但缺乏对机场全生命周期内的废弃拆除阶段的评价。Kilkis 和 Kilkis^[5]通过机场可持续性排名指数来衡量机场在多个因素上的表现, 评价方式和结果更加客观。Santa 等^[6]按照机场的区域划分了客运大楼、跑道和机场的几个类别, 使用描述性方法确定可持续机场的特征, 从而提出可持续发展的机场模型。田利军等^[7]从规划设计、节能降耗和人性化服务方面展开, 基于压力-状态-响应模型建立国内绿色机场评价指标体系。

上述文献资料对绿色机场或者可持续发展机场的评价采用了不同的维度和方法, 大部分从资源节约与环境保护两部分考虑, 均有一定的成效, 但

收稿日期: 2024-03-08

基金项目: 国家社会科学基金(22BJY020); 中国民用航空局安全能力建设项目(14002500000020J074)

作者简介: 陈恒(1999—), 男, 山西吕梁人, 硕士研究生, 研究方向为航空运输战略规划与管理; 通信作者于剑(1968—), 男, 山东烟台人, 博士, 教授, 研究方向为航空运输战略规划管理、航空运输运营管理与优化、环境与可持续发展; 陈保秀(1980—), 女, 辽宁沈阳人, 博士, 副教授, 研究方向为航空运输可持续发展、航空运输战略规划管理。

机场作为全生命周期建筑,耗费时间及使用时间都很长,短期的评价框架无法对其进行长期且客观的评价,使用范围有限。随着“四型机场”概念的提出,机场的建设已经不限于单一阶段的评价当中,应当将绿色机场的整个生命周期贯穿起来,通过对每个生命周期阶段的能耗和环境污染进行评估,确定关键环节,重点关注资源消耗和环境影响较大的阶段,并寻找针对性的绿色发展措施。

1.2 绿色机场评价与选择方法研究现状

在绿色机场评价方法方面,Zhou等^[8]选取了层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)-模糊综合评价模型对绿色机场或建筑的各指标进行评价,二者取长补短,能够有效增强综合评价的客观性,但 AHP 对于评价对象的因素较多时具有局限性,评价结果易出现超模糊现象。Kumar等^[9]使用BWM法确定机场绿色性能的评价指标的权重,相对于 AHP 减少了比较次数,在保证评价信息准确性和有效性的同时简化了计算。Kayapinar Kaya和 Erginel^[10]将犹豫模糊集理论与 SWARA(逐步加权评估比率分析)法相结合,确定可持续机场设计的重要程度,引入犹豫模糊集理论作为整体解决机场可持续设计的设计和改进工具,较好地解决了专家之间的不同意见。田利军等^[7]按照指标数据的差异程度来确定指标数据权重,在绿色机场的指标体系中引入熵值法,赋权更加客观、有理论依据、可信度也更高,但无法考虑到指标与指标之间的横向影响。

在绿色机场选择方法方面,Gupta等^[11]采用优劣解距离法(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)对供应商的绿色创新标准进行排名,没有纳入任何主观因素,更加客观,但无法考虑指标因素之间的相对重要性。Lu等^[12]以中国台湾的3个国际机场作为研究对象,进一步采用改进的 VIKOR 法来选择和改善国际机场期望值与当前情况之间的性能差距,取得了很好的效果。李琳丹^[13]建立投影寻踪算法,从横纵向两个维度研究机场的整体发展状况,进行对比、分析、选择可持续发展结果较好的机场,可最大程度避免权重确定的主观性,其评价结果更为合理,但计算量大。Kumar等^[9]采用 VIKOR 方法,根据绿色实践评估和选择最佳机场,融入了更多专家的意见,因此具有更高的排序稳定性和可信度。

绿色机场评价覆盖了机场的全生命周期的5个阶段,既有定性指标,也有定量指标,面对如此复杂

和庞大的评价指标,各影响因素指标之间的权重是不一样的,单纯采用一种方法是不科学的。因此采取混合模型 BWM-VIKOR 相结合的方法,通过对绿色机场评价指标体系对绿色机场进行选择 and 排名,可以更加直观地观察出当下机场与其他机场存在的优点和不足,向其他机场吸取教训,进一步促进绿色机场的资源节约、环境友好、健康舒适和运行高效,从而促进机场的可持续发展。

2 基础知识

2.1 最优最劣法

BWM法是一种新的多准则决策方法^[14]。BWM法的基本原理如下。

(1)确定准则集。由专家或者决策者讨论确定全生命周期内绿色机场的影响因素,从而将确定研究因素,构建准则集 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 。

(2)确定最佳指标和最劣指标。专家或者决策者根据经验认知和研究的需要,从准则集 C 确定最佳指标 C_B 和最劣指标 C_W 。其中 C_B 是对绿色机场影响作用最大的指标,而 C_W 则是对绿色机场影响作用最小的指标。

(3)构建最优指标判断向量。专家(决策者)将 C_B 与其余指标逐一进行比较,构建最优指标比较向量 $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$,其中 a_{Bj} 表示 C_B 较选项 j 的偏好程度,采用1~9的标度方法,1代表同等重要,9代表极其重要, $a_{BB} = 1$ 。

(4)构建最劣指标判断向量。专家(决策者)将其余指标与 C_W 逐一进行比较,依次构建最劣指标比较向量 $A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T$,其中 a_{jW} 表示第 j 个元素较 C_W 的偏好程度,标度方法同上, $a_{WW} = 1$ 。

(5)构建数学规划问题并求解,得出最佳权重。准则偏好对比即准则权重的对比,最优权重应满足以下条件:对任意准则 j 的权重 w_j ,考虑到权重的非负性和规范性,构建数学规划问题:

$$\begin{aligned} \min \max_j & \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \right\} \\ \text{s. t. } & \begin{cases} \sum_j w_j = 1 \\ w_j \geq 0, \text{ 针对所有的 } j \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

式中:目标函数是针对所有的 j ,取 $\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|$ 、 $\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right|$ 中的最大值,使目标函数最小。为方便求解,可将上述的数学规划问题转化为如下问题:

$$\begin{aligned} & \min \xi \\ & \text{s. t.} \begin{cases} \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \leq \xi, \text{ 针对所有的 } j \\ \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \leq \xi, \text{ 针对所有的 } j \\ \sum_j w_j = 1 \\ w_j \geq 0, \text{ 针对所有的 } j \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

(6)一致性检验。

$$CR = \frac{\xi}{CI} \quad (3)$$

式中:CR 为一致性检验值,其越接近于 0,表示其一致性越高,一般 $CR \in [0, 1]$ 。

2.2 多准则妥协解排序法

VIKOR 法是一种多属性优化决策方法,属于一种多属性决策中最佳妥协解决方法,也是一种基于理想点法的多属性决策方法^[15]。具体步骤如下。

(1)建立初始矩阵。假设全生命周期的绿色机场为评价主体 A,在该绿色机场评价指标体系中,设共有 m 个解决方案,每个解决方案有 n 个评价指标,其中解决方案 m 各个指标 j 的评价值用 a_{ij} 表示,。从而构建绿色机场多属性决策问题的初始矩阵 A 。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

(2)规范化初始矩阵。利用标准的 0~1 变换,对初始矩 A 进行规范化处理。主要依据式(6)和式(7)对效益型(绿色机场的正向化指标)和成本型(绿色机场的负向化指标)进行规范化处理,即

$$x_{ij} = \frac{a_{ij} - a_{ij}^-}{a_{ij}^+ - a_{ij}^-}, j \in \text{效益型} \quad (5)$$

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}^+ - a_{ij}}{a_{ij}^+ - a_{ij}^-}, j \in \text{成本型} \quad (6)$$

最终得到规范后的矩阵 X 。

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

(3)确定正理想解和负理想解。根据规范化矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$,确定正理想解 x^+ (绿色机场评价指标中的最优值 x_j^+)和负理想解 x^- (绿色机场评价指标中的最劣值 x_j^-)。

$$x_j^+ = \max_i x_{ij} \quad (8)$$

$$x_j^- = \min_i x_{ij} \quad (9)$$

(4)计算备选方案的效用值、遗憾值和折中值。

备选方案的群体效用值 S_i :

$$S_i = \sum_{j=1}^n \left(w_j^* \frac{x_j^+ - x_{ij}}{x_j^+ - x_j^-} \right) \quad (10)$$

备选方案的个体遗憾值 R_i :

$$R_i = \max_j \left(w_j^* \frac{x_j^+ - x_{ij}}{x_j^+ - x_j^-} \right) \quad (11)$$

折中评价指标值 Q_i :

$$Q_i = \theta \frac{S_i - S^+}{S^- - S^+} + (1 - \theta) \frac{R_i - R^+}{R^- - R^+}, i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

式中: w_j 为使用 BWM 方法计算出的绿色机场指标最佳权重; θ 为折中系数, $\theta \in [0, 1]$ 。当 $\theta > 0.5$ 时表示按照最大化群体效用制定决策,即绿色机场评价指标体系中所有的指标情况进行评价;当 $\theta = 0.5$ 时,表示按照均衡原则综合制定决策;当 $\theta < 0.5$ 时,表示根据最小个体遗憾的决策机制进行决策。按效用值 S_i 、个体遗憾值 R_i 、折中评价指标值 Q_i 的递减顺序对备选机场进行排序,数值越小表示相应的机场绿色程度越优。

(5)确定最终最优方案。按照 Q_i 的值递增得到的排序为 $Y^{(1)}, Y^{(2)}, \dots, Y^{(m)}$, m 代表备选机场方案的数量。备选方案的排序可以依据以下两个条件进行确定。

可接受优势条件 1: $Q(Y^{(2)}) - Q(Y^{(1)}) \geq 1/(m-1)$ 。

可接受稳定性条件 2: 方案 $Y^{(1)}$ 必须按照 S_i 值或 R_i 值排序第一的方案。

若满足可接受优势条件 1 和可接受稳定性条件 2,则该方案为最佳方案;若方案 $Y^{(1)}$ 只满足可接受优势条件 1 或者只满足可接受稳定性条件 2,则方案 $Y^{(1)}$ 和方案 $Y^{(2)}$ 均为折中解集;若均不满足,则通过 $Q(Y^{(2)}) - Q(Y^{(1)}) < 1/(m-1)$ 得到最大的 m 值,从而确定折中解集。

(6)折中系数敏感性分析。在实际决策中,专家可能有不同的主观决策态度,进而采取不同的折中系数。随着 θ 值的变化,方案排序也会受到影响。因此,本文 $\theta \in [0, 1]$,以 0.2 为步长进行 6 次取值进行敏感性分析,检验评价模型的稳定性。

3 绿色机场评价指标体系的构建

3.1 评价指标构建原则

为了规范绿色机场评价指标的选取过程,遵循

以下原则来设计绿色机场评价指标体系。

(1)科学性原则。构建绿色机场评价指标体系需要以事实为依据,采用科学的方法收集数据。数据的来源必须准确可靠,处理方法必须科学合理。

(2)系统性原则。指标体系作为一个完整的有机体,应当综合考虑各个方面的指标,从而全面地反映绿色机场在全生命周期内的主要特征。

(3)层次性原则。指标体系是一个包含几个子系统的复杂系统,可以根据系统的结构将其分层次地组织起来,使整个体系的结构更加清晰,便于理解和使用。

(4)定量分析与定性分析相结合的原则。在选择评价指标时,应优先考虑那些易于获取和量化的数据指标,以能够量化地展现绿色机场评价指标体系的合理性、可行性或不完善性。

3.2 评价指标体系构建步骤

根据实际国情、绿色机场发展要求以及指标构建原则,确定全生命周期的绿色机场评价指标体系的指标构建步骤,如图1所示。将通过4个步骤完成绿色机场评价指标体系的构建。

3.3 构建绿色机场评价指标体系

通过对机场不同生命周期阶段的评价指标进行系统性的组织、整合和优化,以形成全面、科学、可操作的评价指标体系,用于对机场的绿色发展水平进行评价,最终确立了清晰、全面、实用的绿色机场评价指标体系,即4个准则层和19个评价指标。为有效地进行权重计算,最终邀请了20位专家分别

对准则层和指标层的指标确定最佳准则和最劣准则、最佳指标和最劣指标,对绿色机场评价指标进行比较打分,按照BWM法构建数学规划问题并求解,得出最佳权重,见表1。

通过使用BWM对绿色机场的评价维度和指标进行权重计算和排名。从准则层来看,资源节约和环境友好所占的比重较大,分别为0.416 2和0.403 9;健康舒适和运行高效所占的比重则较小,为0.101 4和0.078 5。这说明在机场的全生命周期内,对资源的高效利用、环境的治理保护在整体评

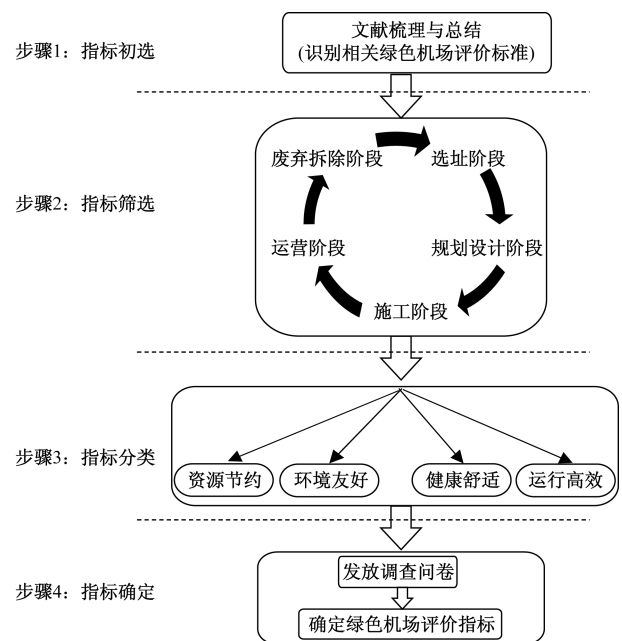


图1 评价指标体系构建步骤

表1 绿色机场评价指标指标权重与排序

准则层	权重	指标层	相对权重	绝对权重	绝对排名
资源节约 A	0.416 2	节地与土地资源利用比 C_1	0.331 5	0.138 0	2
		节水与水资源利用比 C_2	0.099 2	0.041 3	10
		节材与材料资源利用比 C_3	0.230 8	0.096 1	4
		机场布局节能设计 C_4	0.338 5	0.140 9	1
环境友好 B	0.403 9	环境相容 C_5	0.138 0	0.055 7	7
		机场排水系统规划 C_6	0.055 9	0.022 6	15
		可再生能源的使用 C_7	0.194 1	0.078 4	5
		生物多样性保护 C_8	0.107 5	0.043 4	8
		垃圾无害化处理率 C_9	0.076 8	0.031 0	12
		单位旅客综合能耗 C_{10}	0.189 2	0.076 4	6
		机场的碳排放量 C_{11}	0.238 4	0.096 3	3
健康舒适 C	0.101 4	旅客无纸化出行率 C_{12}	0.117 6	0.011 9	18
		室内空气质量 C_{13}	0.243 7	0.024 7	13
		机场人性化规划与服务 C_{14}	0.418 0	0.042 4	9
		旅客出港流线的最远距离 C_{15}	0.220 7	0.022 4	16
运行高效 D	0.078 5	航班靠桥率 C_{16}	0.446 0	0.035 0	11
		换乘便捷性 C_{17}	0.152 3	0.012 0	17
		施工方案的实施与管理 C_{18}	0.093 1	0.007 3	19
		航站楼近机位规划率 C_{19}	0.308 5	0.024 2	14

价中起到了关键作用,是绿色机场建设的重要基础。从评价指标来看,机场节能布局设计、节地与土地资源利用比、机场的碳排放量权重排名前 3,而便捷换乘性、旅客无纸化出行率以及施工方案的实施与管理排名最末,其表明:①机场节能布局设计被认为是优化能源消耗的重要手段,通过机场在规划设计阶段合理规划空间布局、优化设施位置等方式,实现最小化的能源损耗;②节地与土地资源利用比作为关键评估指标,强调了机场在选址阶段、规划设计阶段,对土地资源统筹、集约管理能力,机场通过合理利用土地资源,减少用地浪费,同时提高土地利用效率,以实现多功能性运营和生态保护;③机场的碳排放量也被赋予高度重视,强调了机场在运营阶段、废弃拆除阶段机场区域,尤其是航站楼内碳排放检测和碳排放管理能力。

4 实证分析

建设绿色机场需要采用合适的技术和创新的解决方案,才能较好地平衡经济、环境和社会效益,因此大型机场是绿色机场建设的重点。为确保在绿色机场研究方面具有一定的代表性,从机场规模上选取吞吐量大于 1 000 万人次的大型机场;从地域分布上包含国内东西南北等各地机场。最终选取 4 个主要的民航机场作为样本进行实证研究,包括上海虹桥国际机场(SHA)、深圳宝安国际机场(SZX)、乌鲁木齐地窝堡国际机场(URC)、北京首都国际机场(PEK)。

4.1 绿色机场评价及排名

通过文献综述和专家分析获得两类数据:①定量指标数据,如节地与土地资源利用比、地面绿化率等,来源于《从统计看民航》、机场网站公开数据、企业社会责任报告书等;②定性指标数据,如机场布局节能设计、生物多样性保护等,通过实地考察、访谈和邀请机场专家分析等方式获取。

在这些数据基础上,根据各机场的实际情况进行评价,随后采用 VIKOR 方法对涉及 19 个指标的每个机场进行评价,最终得出对这 4 个机场的评价结果,并进行排名,具体步骤是:计算效用值、遗憾值及折中值,根据式(10)、式(11)和式(12),分别计算出 4 个机场的 S_i 、 R_i 、 Q_i ,并按照由小到大的顺序排列。机场评价计算值见表 2。

根据 VIKOR 最佳方案的评价方法,将各个机场的 Q_i 值由小到大的顺序排列,排序为 SZX、PEK、SHA、URC,按照最终方案的排序条件:①满足可接受优势条件 1: $Q(Y^{(2)}) - Q(Y^{(1)}) \geq 1/(m -$

表 2 机场评价计算值

机场代码	S_i	R_i	Q_i	排序
SHA	0.169 1	0.069 0	0.649 4	3
SZX	0.022 4	0.022 4	0.000 0	1
URC	0.186 2	0.138 0	1.000 0	4
PEK	0.139 7	0.069 0	0.559 9	2

1), $m=4$;②满足可接受稳定性条件 2: $Y(1)$ 的值为 S_i 与 R_i 中的最佳排名,同时群体效用值、个体遗憾值均与折中评价值的排序相同。因此,最终的排序结果为 SZX、PEK、SHA、URC。

4.2 敏感性分析

在实际决策中,专家可能因主观决策态度的不同而采用不同的折中系数,从而影响方案的排序结果。为评估模型的稳定性,将折中系数 $\theta \in [0, 1]$ 进行 6 次取值,进行敏感性分析,以检验在不同折中系数下评价结果的变化。图 2 展示了不同折中系数取值下机场的排序方案。这一敏感性分析旨在揭示折中系数对评价模型的影响,通过比较不同折中系数值下的排序结果,可以帮助确认评价模型的稳定性。

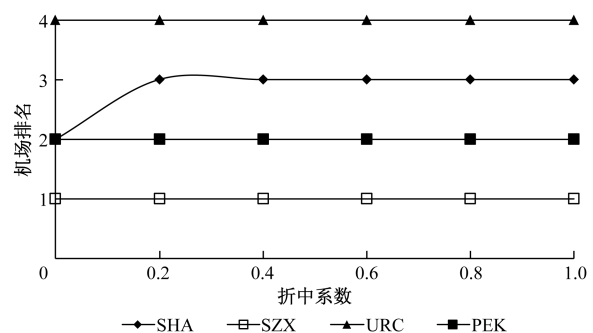


图 2 不同折中系数值的机场排序图

根据上述对不同折中系数取值的结果排序观察,可以得出以下结论:在 6 次不同折中系数取值的情况下,SZX 机场始终保持最优排名,而 URC 机场持续排名最末。而在折中评价值为 0 时,SHA 和 PEK 机场的排名相同,并列第 2,然而在其他情况下,PEK 机场的评价结果优于 SHA。因此,综合考虑各次敏感性分析结果,绿色机场评价指标的总体排名为 $SZX > PEK > SHA > URC$ 。这一排名结果反映了不同折中系数下各机场在绿色机场评价中的综合表现,有助于提供对机场可持续发展性能的更全面理解。

4.3 对比分析

为验证采用 VIKOR 方法所得评价结果的可行性与合理性,对其他决策方法进行了比较研究,这

些方法包 TOPSIS 法、多属性边界近似区域比较法 (multi-attribute border approximation area comparison, MABAC) 以及灰色关联分析法 (grey relational analysis, GRA)。通过对这 3 种方法的排名结果进行详细比较 (图 3), 以深入验证所采用的评价框架的有效性和准确性, 为研究绿色机场评价的排名结果提供全面、可靠的视角。

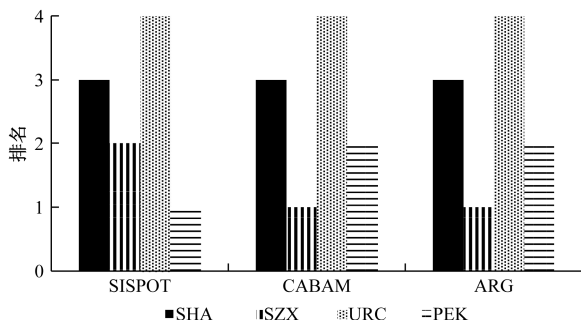


图3 不同方法的机场排名

TOPSIS 方法通过用与正理想解方案的接近度排序, 其中相对接近度越大的机场排名越高; GRA 采用综合关联度的大小来衡量数据之间的相关性, 对评价机场进行排名, 评价值越大的机场排名越高; MABAC 计算每一机场至边界近似区域的总距离, 值越接近于 1, 表示该替代方案在多准则评估中越接近理想解。除 TOPSIS 在排序上出现偏差外, 其他方法的排序均一致, 总体排名为 $SZX > PEK > SHA > URC$, 证明了所选择评价方案的可行性与合理性。

5 结论与建议

针对绿色机场的全生命周期综合评价进行了深入研究, 得出以下结论: ①综合考察资源节约、环境友好、健康舒适和运行高效等评价维度, 发现绿色机场在资源节约和环境友好方面表现卓越, 次之为健康舒适, 而运行高效方面表现相对较弱; ②通过权重计算综合指标, 发现资源节约和环境友好在绿色机场评价中具有主导地位, 而健康舒适和运行高效的权重相对较低; ③根据绿色机场评价的实际情况, 明显发现不同机场之间存在显著差异。综合评价结果显示, 各个机场在资源节约、环境友好、健康舒适和运行高效等方面的表现存在显著的差异。

基于绿色机场评价的实际情况, 从不同机场的生命周期阶段出发, 可以提出以下实际性的建议: ①机场选址阶段, 全面考虑环境友好和资源节约因素。建议选择地理位置和环境条件较为优越的地区, 以减轻不必要的生态环境压力。同时, 详细的

可行性研究可以提高土地的有效利用, 为未来机场建设的绿色化打下坚实基础。②规划设计阶段, 应注重机场节能布局、绿色建筑设计, 引入先进的节能技术, 优化建筑布局, 合理规划绿色空间, 最大限度地减少能源消耗和碳排放。③施工阶段, 机场应降低施工过程中的环境影响, 通过减量化和资源化处理固体建筑垃圾, 降低施工阶段对环境的负担。④运营阶段, 机场可以采用可再生能源, 如光伏发电, 减少二氧化碳排放, 同时注重提供人性化的服务, 优化旅客体验, 从而提升机场的绿色形象和品牌价值。⑤机场废弃拆除阶段, 应采用环保拆除技术, 最大限度减少对环境的影响, 进行废弃物的分类处理和资源回收, 以实现机场全生命周期的可持续性。

参考文献

- [1] 宋文, 胡荣, 谢吉伟, 等. 基于 TOPSIS 模型的机场可持续发展水平评价研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2023, 39(3): 354-360.
- [2] 洪芳林, 龚蛟腾. 美国公共图书馆绿色建筑标准、案例与启示[J]. 图书馆学, 2023(5): 23-31.
- [3] 康一亭, 徐伟, 何凌昊, 等. LEED 体系下基于近零能耗关键技术的建筑节能潜力应用研究[J]. 建筑科学, 2021, 37(10): 179-185.
- [4] 程伦. 基于全生命周期的绿色机场评价指标体系研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2014.
- [5] KILKIS S, KILKIS S. Benchmarking airports based on a sustainability ranking index[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 130: 248-259.
- [6] SANTA S L B, RIBEIRO J M P, MAZON G, et al. A green airport model: proposition based on social and environmental management systems[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 59: 102160.
- [7] 田利军, 姚丽霞, 余佳. 基于 PSR 模型的绿色机场发展指数评价研究[J]. 会计之友, 2021(3): 71-78.
- [8] ZHOU Y, CAI J, XU Y, et al. Operation performance evaluation of green public buildings with AHP-fuzzy synthetic assessment method based on cloud model[J]. Journal of Building Engineering, 2021, 42: 102775.
- [9] KUMAR A, ASWIN A, GUPTA H. Evaluating green performance of the airports using hybrid BWM and VIKOR methodology[J]. Tourism Management, 2020, 76: 103941.
- [10] KAYAPINAR KAYA S, ERGINEL N. Futuristic airport: a sustainable airport design by integrating hesitant fuzzy SWARA and hesitant fuzzy sustainable quality function deployment[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 275: 123880.
- [11] GUPTA H, BARUA M K, et al. Supplier selection

- among SMEs on the basis of their green innovation ability using BWM and fuzzy TOPSIS[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 152: 242-258.
- [12] LU M T, HSU C C, LIOU J J H, et al. A hybrid MCDM and sustainability-balanced scorecard model to establish sustainable performance evaluation for international airports[J]. *Journal of Air Transport Management*, 2018, 71: 9-19.
- [13] 李琳丹. 机场可持续发展评价方法研究[D]. 德阳: 中国民用航空飞行学院, 2019.
- [14] 李龙海, 杨力源, 常鑫, 等. 基于贝叶斯 BWM-VIKOR 法的机场运行韧性评估方法[J]. *科学技术与工程*, 2023, 23(25): 11014-11020.
- [15] 王志愿, 闫磊磊, 邓迎寅, 等. 基于熵权与 VIKOR 方法的设计方案评价与优选[J]. *机械设计*, 2022, 39(2): 154-160.

Evaluation of Green Airport Based on BWM-VIKOR Model

CHEN Heng¹, YU Jian², CHEN Yuxiu^{1,3}

(1. College of Transportation Science and Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China;

2. Civil Aviation Management Institute of China, Beijing 100102, China;

3. China Civil Aviation Environment and Sustainable Development Research Center, Tianjin 300300, China)

Abstract: With the continuous expansion of the number and scale of airports in China, issues such as excessive energy consumption and adverse environmental impacts have been triggered. However, current evaluation studies on green airports mainly focus on the operational stage, and comprehensive evaluations of green airports throughout their lifecycle have not been thoroughly researched. Therefore, an evaluation index system for green airports was constructed from a life-cycle perspective. The best-worst method (BWM) and further applies the VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) method were used to comprehensively assess actual airports, in order to clarify the advantages and disadvantages of current airports in the green development stage. The research indicates that high-quality construction and development of green airports require a focus on resource conservation, environmental friendliness, health, comfort, and operational efficiency throughout the lifecycle, thereby achieving sustainable development of airports.

Keywords: green airports; lifecycle; best-worst method(BWM); VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) method; evaluation model