

## 融合航空噪声与 CoMOLA 模型的机场周边土地利用优化

王超, 崔春梅, 李雯清

(中国民航大学空中交通管理学院, 天津 300300)

**摘要:** 航空噪声是影响机场周边土地利用配置的重要因素, 基于航空噪声相容性进行机场周边土地利用优化对促进机场周边区域发展有重要意义。基于航空噪声相容性的机场周边土地利用规划问题, 构建了融合航空噪声相容性的土地利用分配约束多目标优化 (CoMOLA, constrained multi-objective optimization of land use allocation) 模型。结合航空噪声与土地利用相容性模型和非优势排序遗传算法, 设置土地利用转换、面积、综合效益的外部模型, 最后对相邻土地间相容性进行分析, 对不相容地块提出相关的解决措施。研究结果表明, 本模型有效地融合了航空噪声与机场周边土地利用规划, 有助于机场周边土地利用规划的政策部署, 丰富了机场周边国土空间优化模型, 对航空港协调发展具有实际意义。

**关键词:** 航空噪声; 土地利用规划; 机场; CoMOLA 模型; 相容性

中图分类号: X593; V35 文献标志码: A 文章编号: 1674-5590(2024)05-0052-07

## Optimization of land use around airports by integrating aviation noise and CoMOLA model

WANG Chao, CUI Chunmei, LI Wenqing

(College of Air Traffic Management, CAUC, Tianjin 300300, China)

**Abstract:** Aviation noise is an important factor affecting the land use allocation around the airport, and it is of great significance to optimize the land use around the airport based on the compatibility of aviation noise to promote the development of the area around the airport. Based on the problem of land use planning around airports of aviation noise compatibility, a model of constrained multi-objective optimization of land use allocation (CoMOLA) was constructed combining aviation noise compatibility. Combined with the aviation noise, land use compatibility model and the non-dominant ranking genetic algorithm, the external model of land use conversion, area and comprehensive benefit was set up, and finally the compatibility between adjacent land was analyzed, and relevant solutions were proposed for the incompatible plots. The results showed that this model effectively integrated aviation noise and land use planning around the airport, which is helpful for the policy deployment of land use planning around the airport, enriched the territorial spatial optimization model around the airport, and had practical significance for the coordinated development of the airport.

**Key words:** aviation noise; land use planning; airport; CoMOLA model; compatibility

机场周边的土地可利用资源有限, 机场运行对周边土地利用规划也存在诸多限制。土地利用规划对区域经济发展、生态环境、空港居民居住环境有重要影响。机场周边的土地利用规划不仅要考虑住宅要求、休闲娱乐、教育医疗等基本生活功能, 以及生态环境和耕地功能, 还应考虑仓储与产业园等航空运输必要的功能。与城市通用土地利用规划不同, 空中交通的

起降运行产生的航空噪声制约着机场周边土地利用规划。在中国民航产业存在巨大发展空间的前提下, 推动机场周边土地高效利用, 实现土地利用规划与机场航空噪声相容、统筹推进空港区域协调发展是目前亟待解决的问题。

当前针对土地资源优化问题的相关研究主要集中在分析土地利用优化问题的普遍规律, 融合智能算

法、运筹学和地理信息系统等相关技术理论解决土地利用结构优化问题。其中多目标决策,启发式算法深受青睐,包括遗传算法(GA, genetic algorithm)<sup>[1]</sup>、粒子群算法和蚁群算法等。将多目标优化与智能算法相结合提出了组合优化模型,如小尺度土地利用变化及其空间效应(CLU-E-S, conversion of land use and its effects at small regional extent)模型<sup>[2]</sup>、未来土地利用模拟(FLUS, future land use simulation)模型<sup>[3]</sup>、基于 GA 与博弈论的优化模型<sup>[4]</sup>、模糊多目标线性规划(FMLP, fuzzy multi-objective linear programming)模型<sup>[5]</sup>、土地利用分配约束多目标优化(CoMOLA, constrained multi-objective optimization of land use allocation)模型<sup>[6-7]</sup>等。当前的研究虽在土地利用优化方面取得了一定进步,但也存在参数设置复杂和实践困难等问题。针对机场周边航空噪声与土地利用相容性问题的研究,系统考虑区域发展特点,提出土地高效利用方法是新时期国土空间规划的重点。

目前的土地利用配置规划主要以栅格为单位,将栅格规划为指定功能区。但该类方案由于功能区面积过大而缺乏灵活性<sup>[8]</sup>。当机场周边区域规划要求符合飞机噪声环境标准<sup>[9]</sup>时,会出现噪声等值线跨功能区,导致土地利用与航空噪声部分相容的情况。如果选择以传统的方式满足航空噪声对土地利用规划的要求,将会出现土地利用形式单一、土地闲置、土地资源浪费的情况<sup>[10]</sup>。基于机场航空噪声预测结果指导土地利用规划,优化土地功能区块的布局,可以为未来机场周边的国土空间规划提供技术支持,也是实现保护与开发并行的机场周边土地资源可持续发展的重要途径。

本文首先根据机场航空噪声预测结果和周边土地利用规划图分析了噪声相容性,绘制网格数字地图;其次融合噪声土地相容性模型及 CoMOLA 模型建立整体模型,然后构建土地利用优化结果的适配度分析模型,最终提出了土地利用规划与航空噪声相容的整合方法,构建机场周边土地利用优化的科学模型。

## 1 研究方法

### 1.1 模型概述

机场周边的土地利用规划,是从属于城市规划体系的一种专项规划。由于其需要考虑航空噪声和航空器安全运行,在与城市规划项目衔接时存在一定困难<sup>[11]</sup>。本文基于机场航空噪声与周边土地利用相容性

分析,结合 CoMOLA 模型提出一种针对机场周边的土地利用规划的优化方法。Strauch 等<sup>[7]</sup>提出了基于非优势排序遗传算法(NSGA-II, non-dominated sorting genetic algorithm-II)的 CoMOLA 模型,该模型允许用户集成任何类型的外部模型,克服了传统优化模型的非凸搜索策略的局限性。模型虽然存在主观优化倾向,但结合充分的前期数据分析和外部模型的构建,更容易实现政策落实和规划者的设计理念。

(1)根据航空噪声预测结果,分析土地利用与航空噪声相容性,将土地利用规划图转化为美国信息交换标准代码(ASCII, American standard code for information interchange)格式的网格数字地图;

(2)构建约束条件,定义土地利用功能区块转换约束和面积约束;

(3)进行 CoMOLA 模型优化运算,其流程如图 1 所示;

(4)优化机场周边土地利用空间布局,构造相邻地块间土地利用相容性模型,对优化结果提出改进建议。

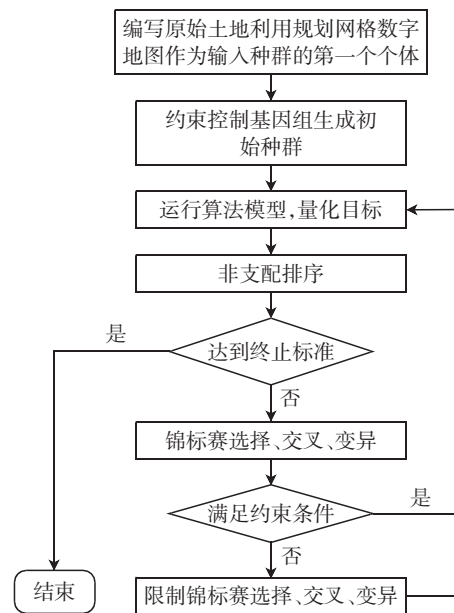


图 1 CoMOLA 模型流程图

Fig.1 Flowchart of CoMOLA model

### 1.2 数据预处理

中国所有机场采用国际民航组织推荐的计权等效连续感觉噪声级  $L_{WECPN}$  作为机场噪声评价指标,其计算公式表示为

$$L_{WECPN} = \overline{L_{EPN}} + 10 \lg (N_1 + 3N_2 + 10N_3) - 39.4 \quad (1)$$

式中:  $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$  分别为昼间(07:00—19:00)、晚间(19:00—22:00)、夜间(22:00—07:00)的飞机运行架

次;  $\overline{L_{EPN}}$  为  $N$  次飞行的有效感觉噪声级的平均能量值<sup>[12]</sup>。标准规定一类区域采用  $L_{WECPN} \leq 70$  dB, 除一类区域以外的其他生活区采用  $L_{WECPN} \leq 75$  dB。

根据机场周边飞机噪声环境标准 (GB9600—1988)<sup>[9]</sup>, I 类用地噪声敏感, II 类用地噪声较敏感, III 类用地噪声较不敏感, IV 类用地噪声不敏感。以成都双流国际机场 (简称双流机场) 西北部区域 2021 年规划控制图为算例, 对 11 种初始用地类型进行标号, 机场周边土地利用类型及标号如表 1 所示。

表 1 机场周边土地利用类型及标号

Tab.1 Land use types and labels around the airport

标号	土地利用类型	I 类	II 类	III 类	IV 类
1	住宅用地	✓			
2	教育科研用地	✓			
3	医疗卫生用地	✓			
4	商业用地			✓	
5	商务用地		✓		
6	商住混合用地		✓		
7	工业用地			✓	
8	仓储物流用地				✓
9	交通枢纽用地				✓
10	公园绿地			✓	
11	防护绿地				✓

### 1.3 基于航空噪声的土地利用地图更新

利用地理信息系统 (GIS, geographic information system) 将地图划分为  $60 \times 60$  个网格, 对原始网格地图进行赋值, 实现原始地图的数字化转换。据预测, 双流机场起降航班量将于 2035 年接近其双跑道容量值 (约 1 070 架次)。根据 2035 年的航空噪声预测值与网格地图进行相容性分析, 利用分析结果更新 ASCII 格式的网格数字地图。地图更新规则为当原始网格地图中土地利用标号与航空噪声值相容时, 保持原标号, 否则更新标号。土地利用类型与航空噪声相容性标号更新规则如表 2 所示。

表 2 土地利用类型与航空噪声相容性标号更新规则

Tab.2 Updating rules for land use and aviation noise compatibility labeling

标号	土地利用类型	类别	不相容更新标号
1	住宅用地	I 类	12
2	教育科研用地	I 类	13
3	医疗卫生用地	I 类	14
5	商务用地	II 类	15
6	商住混合用地	II 类	16

### 1.4 NSGA-II 算法

NSGA-II 算法是非优势排序的遗传算法, 是多目

标优化领域中的里程碑, 提出了快速非优势排序, 引进精英策略, 并采用拥挤度比较算子, 提高了计算速度和优化精度<sup>[13]</sup>。

(1) 实数编码的交叉运算过程模拟二进制交叉。随机从初始父代选取  $x_{1,j}$  和  $x_{2,j}$ , 采用二次锦标赛选择, 交叉变异生成子代  $x_{1,j+1}$  和  $x_{2,j+1}$ , 即

$$\begin{cases} x_{1,j+1} = 0.5 \times [(1 + \gamma_j) \times x_{1,j} + (1 - \gamma_j) \times x_{2,j}] \\ x_{2,j+1} = 0.5 \times [(1 - \gamma_j) \times x_{1,j} + (1 + \gamma_j) \times x_{2,j}] \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $\gamma_j$  与随机数  $u_j \in [0,1]$  相关, 即

$$\gamma_j = \begin{cases} (2u_j)^{\frac{1}{\eta+1}} & 0 \leq u_j \leq 0.5 \\ \frac{1}{(2(1-u_j))^{\frac{1}{\eta+1}}} & 0.5 < u_j \leq 1 \end{cases}$$

式中,  $\eta$  为变异分布指数。

(2) 多项式变异, 从父代种群中选取个体  $x_{3,j}$ , 产生变异子代个体  $x_{3,j+1}$ , 即

$$x_{3,j+1} = x_{3,j} + \Delta_j \quad (3)$$

计算  $\Delta_j$  的值

$$\Delta_j = \begin{cases} (2u_j)^{\frac{1}{\eta+1}} - 1 & 0 \leq u_j \leq 0.5 \\ 1 - (2(1-u_j))^{\frac{1}{\eta+1}} & 0.5 < u_j \leq 1 \end{cases}$$

### 1.5 目标设置

(1) 经济目标

将研究区域土地利用类型的经济效益作为经济目标, 即

$$Z_1 = \max \sum_{i=1}^n E_i \times x_i \times s \quad (4)$$

式中:  $E_i$  为第  $i$  类土地利用类型的经济效益系数 (万元/hm<sup>2</sup>);  $x_i$  为第  $i$  类土地利用类型的网格数 ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $n$  为土地利用类型数;  $s$  表示单位网格面积 (hm<sup>2</sup>)。

(2) 公园城市目标

在城市土地利用规划中, 公园绿地的物种丰富度可以作为生态发展的指标, 即

$$Z_2 = \max \sum_{i=1}^n B_i \times x_i \times s \quad (5)$$

式中,  $B_i$  为第  $i$  类土地利用类型的物种丰富度 (千种/hm<sup>2</sup>)。

(3) 生产目标

将研究区域土地利用类型的生产产量作为生产目标, 表示为

$$Z_3 = \max \sum_{i=1}^n P_i \times x_i \times s \quad (6)$$

式中,  $P_i$  为第  $i$  类土地利用类型的生产系数 (10<sup>3</sup> t/hm<sup>2</sup>)。

### 1.6 发展场景规划

#### (1)经济优先

当前城市规模迅速扩张,为发展城市外环,提高就业岗位,鼓励当地旅游业、工业、教育和医疗等发展以及促进郊区经济发展提供了重要手段。根据经济优先原则拟定土地利用转换规则如表 3 所示。

表 3 经济优先土地利用转换规则

Tab.3 Economic prioritized land use conversion rules

用地类型	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>	L <sub>7</sub>	L <sub>8</sub>	L <sub>9</sub>	L <sub>10</sub>	L <sub>11</sub>	L <sub>12</sub>	L <sub>13</sub>	L <sub>14</sub>	L <sub>15</sub>	L <sub>16</sub>
L <sub>1</sub>	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>2</sub>	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>3</sub>	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>4</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>5</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>6</sub>	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>7</sub>	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>8</sub>	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>9</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>10</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
L <sub>11</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
L <sub>12</sub>	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
L <sub>13</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
L <sub>14</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
L <sub>15</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
L <sub>16</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

表 3 中 L<sub>1</sub> 至 L<sub>11</sub> 分别表示表 1 中的 11 种用地类型。L<sub>12</sub> 至 L<sub>16</sub> 分别表示住宅用地 L<sub>1</sub>、教育科研用地 L<sub>2</sub>、医疗卫生用地 L<sub>3</sub>、商务用地 L<sub>5</sub> 和商住混合用地 L<sub>6</sub> 地块与航空噪声不相容时的更新标号(表 2);1 表示所在网格土地利用转换可行,0 表示不可行,下同。

#### (2)公园城市优先

城市郊区地带往往承担着城市绿化带功能,服务城市居民的休闲度假需求。成都率先提出公园城市概念,主张绿水青山的生态价值,贯彻落实全面发展理念的高层次城市发展形式。根据公园城市优先原则拟定土地利用转换规则如表 4 所示。

#### (3)产业优先

机场周边的产业结构形式复杂,有较好的发展前景,成都作为新丝绸之路的关键一环,发展航空港物流经济、完善客运产业结构是带动地区发展的关键。以产业优先原则拟定土地利用转换规则如表 5 所示。

### 1.7 相邻土地利用相容性评估

CoMOLA 模型考虑了基本的土地利用总面积和类型转换规则,也可以实现最多 4 个外部模型的目标优化。但是针对土地利用相容性理论,该模型依然存

表 4 公园城市优先土地利用转换规则

Tab.4 Park city prioritized land use conversion rules

用地类型	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>	L <sub>7</sub>	L <sub>8</sub>	L <sub>9</sub>	L <sub>10</sub>	L <sub>11</sub>	L <sub>12</sub>	L <sub>13</sub>	L <sub>14</sub>	L <sub>15</sub>	L <sub>16</sub>
L <sub>1</sub>	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
L <sub>2</sub>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>3</sub>	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>4</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
L <sub>5</sub>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
L <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
L <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
L <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
L <sub>9</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
L <sub>10</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
L <sub>11</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
L <sub>12</sub>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
L <sub>13</sub>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
L <sub>14</sub>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
L <sub>15</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
L <sub>16</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

表 5 产业优先土地利用转换规则

Tab.5 Industry prioritized land use conversion rules

用地类型	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>	L <sub>7</sub>	L <sub>8</sub>	L <sub>9</sub>	L <sub>10</sub>	L <sub>11</sub>	L <sub>12</sub>	L <sub>13</sub>	L <sub>14</sub>	L <sub>15</sub>	L <sub>16</sub>
L <sub>1</sub>	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>2</sub>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>3</sub>	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>4</sub>	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>5</sub>	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>6</sub>	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>9</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
L <sub>10</sub>	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
L <sub>11</sub>	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
L <sub>12</sub>	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
L <sub>13</sub>	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
L <sub>14</sub>	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
L <sub>15</sub>	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
L <sub>16</sub>	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

在考虑不充分的情况。除了分析航空噪声和机场周边土地利用相容性,土地利用的优化问题还需要考虑相邻土地类型的相容性。在模型优化的结果已符合航空噪声与土地利用相容性的前提下,相邻土地之间的相容度越强,意味着土地布局更加合理,相邻地块之间的相容性如表 6 所示。基于不同土地利用类型之间的相容性,构造相容度判断矩阵对其网格进行全局搜索,

进行相邻地块之间的相容性分析。

根据表 6 中<sup>[4]</sup>的典型活动间的相容程度,构建相邻土地类型之间的相容性判断矩阵,如表 7 所示,其中:0 为相容;1 为条件相容;2 为不相容。

表 6 相邻地块之间的相容性

Tab.6 Compatibility between adjacent plots

活动类别	购物	餐饮	休闲	办公	居住
购物					
餐饮	强				
休闲	一般				
办公	弱	弱	一般		
居住	弱	弱	一般	一般	

表 7 相邻土地类型的相容度判断矩阵

Tab.7 Compatibility judgment matrix of adjacent land types

标号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	1	0	2	1	1	0	0
2	0	0	0	0	1	0	2	1	1	0	0
3	0	0	0	0	1	0	2	1	1	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
5	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
7	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
9	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

将模型优化后的网格数字地图根据不同土地类型相容性判断矩阵对每个网格进行运算,获得相容度判断结果。对网格数字地图进行进一步优化,获得机场周边土地利用与航空噪声相容、相邻土地性质相容并满足不同发展情景的最终结果,并进行可视化处理。

## 2 算例验证

### 2.1 航空噪声等值线预测结果

在前期工作中,首先根据成都双流国际机场(简称双流机场)现行交通流的分析结果,预测了规划年机场航班总量,编制了规划年典型日机场交通运行场景,将编制的交通运行场景输入到航空环境设计工具(AEDT, aviation environmental design tool)中进行仿真计算。

AEDT 根据民用航空噪声计算原理,内嵌的综合噪声模型(IMN,integrated noise model)计算双流机场 2035 年典型日航空噪声值。绘制的  $L_{WECPN}$  分别为 70、75、

80、85 dB 的噪声等值线如图 2 所示。

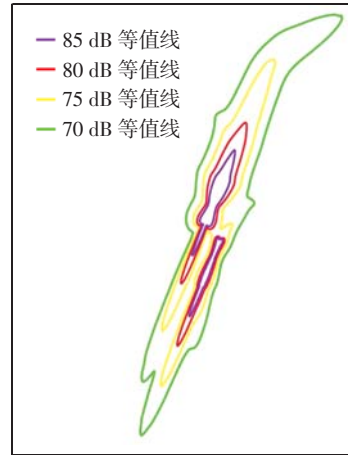


图 2 2035 年双流机场航空噪声等值线预测结果

Fig.2 Prediction results of aviation noise contour lines in 2035 at Shuangliu Airport

### 2.2 土地利用优化结果

默认基本优化方案可实施的前提下,以经济、公园城市、生产为目标,约束条件为不同目标下的用地类型转换规则和面积限制。以 2035 年双流机场航空噪声预测与土地利用规划图为基础数据,基于改进的 CoMOLA 模型,进行机场周边土地空间的优化。根据优化结果,结合不同土地类型相容度判断矩阵,进行进一步的优化配置,最后生成网格数字地图并进行可视化。其优化结果的相关数据如表 8 所示,不同发展情形下土地利用优化结果如图 3 所示。

表 8 不同发展情境下的土地利用性质面积

Tab.8 Land use property area under different development scenarios

标号	基础规划	经济优先	公园城市优先	生产优先
1	5 598 046	3 677 032	5 939 821	4 395 939
2	718 907	471 414	412 488	1 107 823
3	153 210	35 356	117 854	106 068
4	3 794 886	4 301 656	954 614	2 993 481
5	388 917	141 424	235 707	188 565
6	294 634	10 818 960	271 063	1 402 457
7	117 854	0	117 853	8 803 663
8	506 770	506 770	0	601 053
9	306 419	306 419	212 136	553 911
10	8 579 742	58 927	12 551 408	860 331
11	565 697	707 122	212 136	11 785

根据表 8 所示:经济优先发展情景下,算例区域的住宅、教育科研、医疗卫生、商务、工业、公园用地都有所减少,其中医疗和商务用地的减少量明显,分别为 76.92%和 63.64%。而工业和公园用地被商住混合用

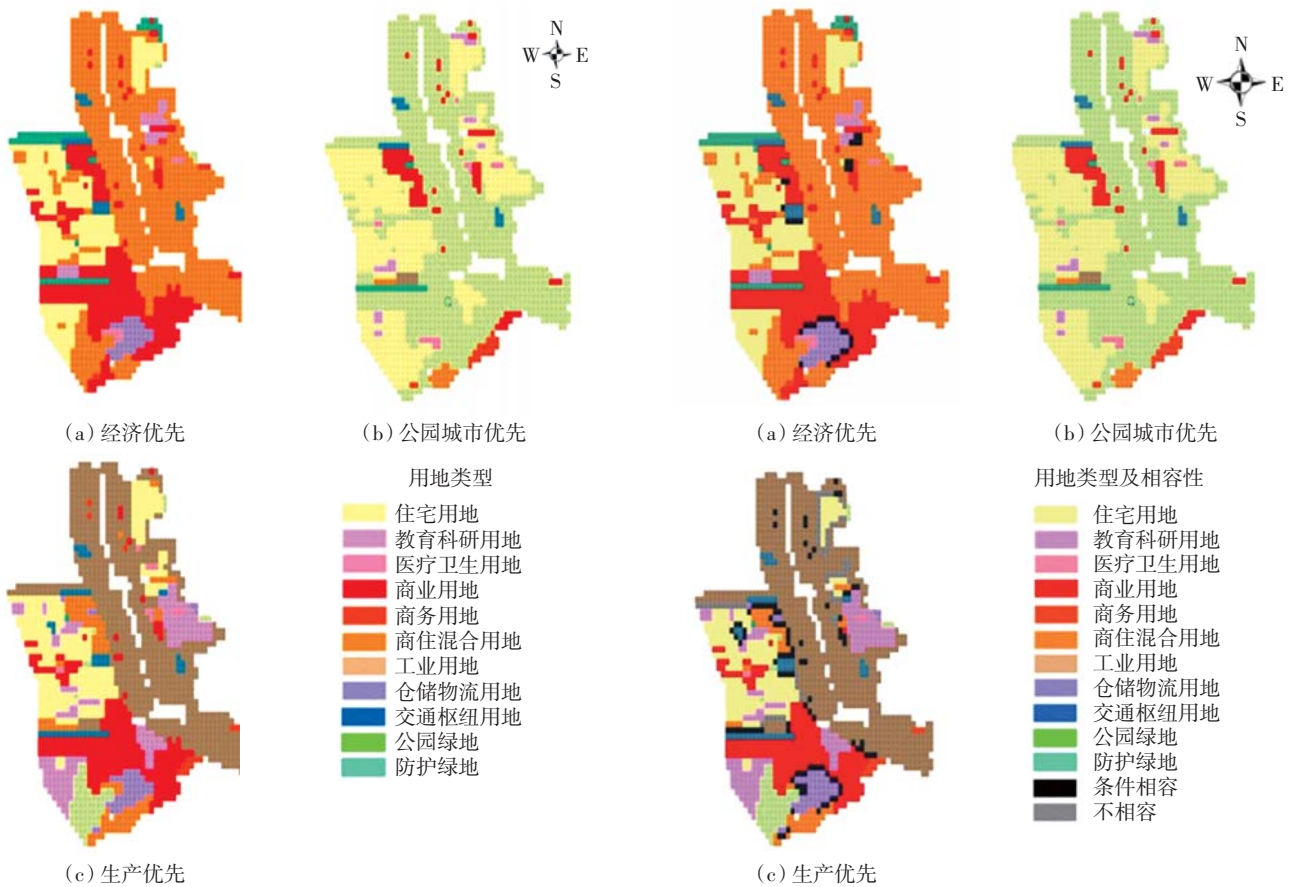


图 3 不同发展情形下土地利用优化结果

图 4 相邻土地利用类型之间相容性判断结果

Fig.3 Land use optimization results under different development scenarios

Fig.4 Compatibility judgment results between adjacent land use types

地代替;公园城市优先发展情景下,算例区域除了住宅、工业和公园绿地以外的大部分用地都有不同程度的减少,减少最显著的是仓储物流、商业和防护绿地分别为 100%、74.84%、62.50%,减少的用地主要转换成了公园绿地,公园绿地的增长面积约为 4 000 m<sup>2</sup>;生产优先发展情景下,主要减少的用地有住宅、医疗、商业、商务、公园和防护绿地,其中,公园和防护绿地减少率最高都在 90%左右。

### 2.3 相邻土地性质间的相容性分析

根据相邻土地之间的相容度判断矩阵,分析优化结果中土地利用规划的不相容程度,并指出重点区域。如图 4 所示,相邻土地性质不相容地块为灰色部分,相邻土地性质条件相容地块为黑色部分。

从图 4 所示优化结果可以看出:生产优先发展情景下的模型优化结果产生了较多的相邻土地性质不相容和条件相容的区域;经济优先发展情景下的优化结果无相邻用地类型之间的不相容区域,存在少量的条件相容区域有待改进;在公园城市优先发展情景下,由于公园绿地与各类用地类型的兼容度较好,全域

相容。

建议将不相容地块用地性质更改为公园绿地或防护绿地作为过渡带,建议对条件相容地块采取相关解决措施,或更改为公园绿地。

### 3 结语

机场周边的土地利用规划应充分考虑机场周边土地利用与航空噪声的相容性,相邻土地性质之间的相容性,从而对机场周边土地利用规划进行优化,或对受航空噪声影响区块采取相关解决措施。本文进行了航空噪声与土地利用相容性分析,基于 CoMOLA 模型计算了不同目标优先发展情景下的优化结果。在双流机场跑道容量没有技术性提升的前提下,2035 年的航空噪声预测值接近最大航空噪声环境影响范围。因此基于 2035 年航空噪声值的土地利用优化研究具有实际意义。研究表明,当前的土地利用规划充分体现了以公园城市优先为主导的理念,也存在部分与噪声不相容的规划区域。本研究为实现更加科学合理

的土地利用规划方案提供了方法和技术支持,对机场周边土地利用规划具有参考价值。为了协调航空噪声与机场周边土地利用相容性问题,后续研究可以以航空噪声的最小影响为目标,融合基于航空器运行轨迹的优化和机场周边土地利用的优化,构建综合模型,以获得最优的规划方案。

#### 参考文献:

- [1] 王昊煜,高培超,谢一茹,等.基于遗传算法的土地利用优化:NSGA-II和NSGA-III的对比研究[J].生态学报,2023,43(2):639-649.
- [2] 许小亮,李鑫,肖长江,等.基于CLUE-S模型的不同情景下区域土地利用布局优化[J].生态学报,2016,36(17):5401-5410.
- [3] 杨露,颜耀文,宗乐丽,等.基于多目标遗传算法和FLUS模型的西北农牧交错带土地利用优化配置[J].地球信息科学学报,2020,22(3):568-579.
- [4] LIU Y L, TANG W, HE J H, et al. A land-use spatial optimization model based on genetic optimization and game theory[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2015, 49: 1-14.
- [5] MA S H, WEN Z Z. Optimization of land use structure to balance economic benefits and ecosystem services under uncertainties: a case study in Wuhan, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 311: 127537.
- [6] 张孟真,金晓斌,韩博,等.基于改进CoMOLA模型的镇域土地利用优化[J].农业工程学报,2020,36(12):257-267.
- [7] STRAUCH M, CORD A F, PÄTZOLD C, et al. Constraints in multi-objective optimization of land use allocation—repair or penalize[J]. Environmental Modelling and Software, 2019, 118: 241-251.
- [8] 李飞.恢复生态学视角下的土地利用优化研究:以吉林西部为例[D].长春:吉林大学,2016.
- [9] 国家环境保护局.机场周围飞机噪声环境标准:GB 9660—1988[S].北京:中国标准出版社,1988.
- [10] 徐爽,朱永明.基于土地利用功能最大化的多情景土地利用优化研究[J].中国农业资源与区划,2022,43(11):90-100.
- [11] 李文龙,叶宸希.精细化管控下的大型机场控规用地分类研究[C]//2020/2021中国城市规划年会暨2021中国城市规划学术季论文集,成都,2021:132-137.
- [12] 王超.飞行程序运行评估的理论与方法研究:安全、经济、管制适用性和环境影响分析[M].北京:航空工业出版社,2014.
- [13] 王青松,谢兴生,周光临.一种改进的非支配排序遗传算法[J].信息技术与网络安全,2019,38(5):28-32.
- [14] 钟力.混合使用型住区的规划设计研究[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.

(责任编辑:孟欣)

## 《中国民航大学学报》版权声明

本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、中国期刊全文数据库(CJFD)及万方数据数字化期刊群、维普期刊全文数据库、中国台湾中文电子期刊服务——思博网(CEPS)、波兰《哥白尼索引》(IC, Index of Copernicus)、美国剑桥科学文摘社(CSA, Cambridge Science Abstracts)等国内外知名数据库。凡本刊录用的稿件将同时通过互联网进行网络出版或提供信息服务。凡投本刊的稿件一经录用,本刊即认定作者将该文的复制权、发行权、信息化网络传播权、翻译权、汇编权等权利在世界范围内转让给本刊。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意本刊上述声明。