

# 基于相关性 - 主成分分析的国际陆港竞争力评价体系的构建

龙凌曦<sup>1</sup>, 舒晓惠<sup>2</sup>, 李洋阔<sup>2</sup>

<sup>1</sup>吉首大学数学与统计学院, 湖南 吉首

<sup>2</sup>怀化学院商学院, 湖南 怀化

收稿日期: 2024年4月25日; 录用日期: 2024年5月15日; 发布日期: 2024年5月27日

## 摘要

本文从反映国际陆港竞争力的内涵出发, 在企业竞争力和陆港管理部门的出现高频指标的基础上, 结合相关的文献, 从陆港内部基础设施, 物流发展水平, 商贸发展水平及外部的区域经济发展水平一起四个方面海选了评价国际陆港竞争力的相应指标。根据可观测性的原则初步筛选指标, 通过相关性和主成分分析相结合的方法定量筛选指标, 构建出国际陆港竞争力的评价体系。

## 关键词

相关性, 主成分分析, 国际陆港, 指标评价体系

# Construction of an International Dry Port Competitiveness Evaluation System Based on Correlation and Principal Component

Lingxi Long<sup>1</sup>, Xiaohui Shu<sup>2</sup>, Yangkuo Li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Mathematics and Statistics, Jishou University, Jishou Hunan

<sup>2</sup>College of Business, Huaihua University, Huaihua Hunan

Received: Apr. 25<sup>th</sup>, 2024; accepted: May. 15<sup>th</sup>, 2024; published: May. 27<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

This paper starts from the connotation of international dry port competitiveness, and based on high-frequency indicators in corporate competitiveness and dry port management, combined with

relevant literature, it selects corresponding indicators to evaluate the competitiveness of international dry ports from four aspects: internal infrastructure of the dry port, level of logistics development, level of commercial and trade development, and the external level of regional economic development. The indicators are initially screened based on the principle of observability, and then quantitatively selected through a combination of correlation and principal component analysis, thus constructing an evaluation system for the competitiveness of international dry ports.

## Keywords

Correlation, Principal Component Analysis, International Dry Port, Indicator Evaluation System

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

国际陆港是指在内部地区建立的类似于沿海地区的港口，它承担着“一带一路”和“西部陆海新通道”等重大国家战略的任务，故如何科学地评价其竞争力显得至关重要，而建立一套相应的指标体系是国际陆港竞争力评价的关键。如果指标体系不合理，则无论采用什么评价方法，评价结果都无任何意义。

目前国际陆港竞争力评价体系研究的现状如下：由于国际陆港是近些年来的新型事物，相关的研究非常少。在知网总库主题中搜索“国际陆港竞争力”仅显示 67 篇。整理相关文献得出以下国际陆港评价指标体系：Siyuan Tang *et al.* (2020) [1]从文献资料中选取基础设施、生产能力和发展环境三个方面构建了内河港口竞争力评价模型和指标体系；陈菊红(2011) [2]通过文献搜集和专家询问从基础设施建设水平、服务提供能力、品牌构建水平、产业集聚水平、辐射带动水平、地区经济发展水平和政府政策六个方面构建国际陆港竞争力评价体系；姜健乐(2023) [3]通过问卷调查从基础设施设备水平、经营水平、主要运行平台状况、腹地经济发展水平、交通基础设施，陆港发展潜力六个方面构建国际陆港竞争力评价体系；蒋明羽(2020) [4]通过相关数据结合专家打分从内部条件、外部条件、经营水平和软实力四个方面构建陆港综合评价体系；闫茹(2021) [5]通过专家询问从基础物流，纵向一体化，横向一体化构建西安国际陆港综合竞争力体系；贺博雅(2018) [6]从陆港内部基础设施发展水平、物流业发展水平、交通环境发展水平及政策环境发展水平四个方面构建了国际陆港竞争力评价指标体系；魏晓雪(2016) [7]通过文献资料构建了内陆设备服务条件在内的 7 个一级指标并选取了 17 个二级指标构建内陆港评价综合体系；车文(2015) [8]从物流业务角度、基础建设角度、区域经济角度、顾客角度、社会发展角度五个方面，用平衡积分卡建立国际陆港物流评价指标体系。针对以上的评价指标体系，有以下问题存在着：一是指标体系庞杂，有些同一信息由多个指标反映，二是根据专家筛选法，单纯依靠指标的含义和个人经验，主观性过强。

## 2. 指标体系的构建原理

针对以上问题，本文根据企业竞争力的内涵和陆港管理部门的规章，结合学术文献对国际陆港竞争力的有关指标先进行海选。先通过可观测性的原则进行筛选，再通过相关性 - 主成分分析进行定量筛选。

### 2.1. 海选思路

1) 准则层的设置：通过设置国际陆港内部基础设施发展水平 Y1、国际陆港物流发展水平 Y2 和国际

陆港商贸发展水平 Y3 来反应国际陆港内部的竞争力；通过设置区域经济发展水平 Y4 来反应国际陆港所在区域的外部竞争力。

2) 指标层的选取：通过选取投资金额，保税物流中心(B 型)个数等 15 个指标来反应 Y1；通过选取全市邮政业务收入，固定资产投资额等 16 个指标来反应 Y2；通过选取自贸区的面积等 12 个指标来反应 Y3；通过选取市辖区地区生产总值等 13 个指标来反应 Y4。即通过海选 56 个指标来反应国际陆港竞争力。

### 2.2. 根据可观测性的原则进行删除

1) 样本数据的删除：本文样本数据为中国 2021 年 182 个国际陆港的相应数据。2021 年中国有 204 个国际陆港[9]，在此删除了地方州，盟所对应的 15 个国际陆港，保留地级市所对应的 189 个国际陆港，在此基础上进一步删除了缺少投资金额数据的 7 个国际陆港，由此形成 182 个国际陆港数据。

2) 指标的删除：对于一些不可获取的数据的指标或定性指标进行删除。

### 2.3. 相关性 - 主成分分析进行筛选

1) 相关性的筛选：删除同一准则层内相关系数较大的指标，保证筛选后的指标反映信息不重复。

2) 主成分分析的筛选：删除同一准则层内因子载荷较小的指标，保证筛选后的指标对评价结果有显著性影响。

基于相关性 - 主成分分析的国际陆港竞争力评价体系的构建的原理如图 1 所示。

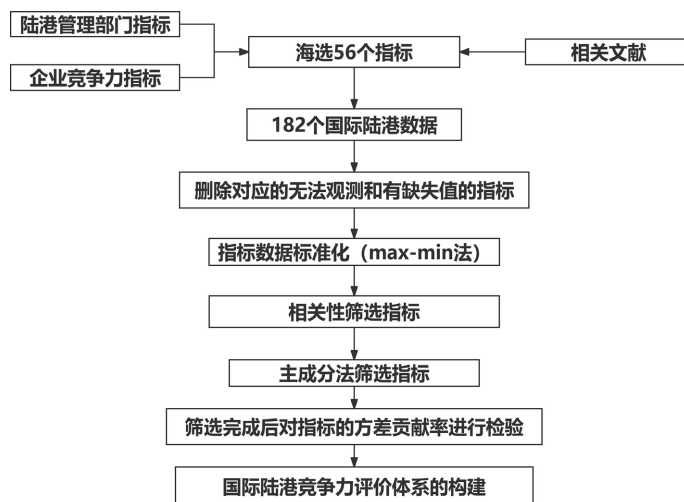


Figure 1. Process flowchart for constructing the international dry port competitiveness indicator system

图 1. 国际陆港竞争力指标体系构建的流程图

## 3. 研究方法

### 3.1. 指标数据的标准化

针对已经海选完的指标，对每个指标做标准化处理。本文选取 max-min 标准化处理方式，以消除量纲对评价结果的影响，使各个指标之间具有统一的标准。

1) 正向指标的标准化

正向指标是数值越大反映评价结果越好的指标。设  $u_{ij}$  表示第  $i$  个评价对象下的第  $j$  项指标标准化后

的值,  $x_{ij}$  表示为第  $i$  个评价对象下的第  $j$  项指标的观测值;  $n$  为评价对象的数量,  $m$  为评价指标的数量。则计算公式为:

$$u_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\}}{\max\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\}} \quad (1)$$

其中  $i=1, 2, \dots, n$ ;  $j=1, 2, \dots, m$ 。

#### 2) 负向指标的标准化

同理有关负向指标的公式为:

$$u_{ij} = \frac{\max\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\} - x_{ij}}{\max\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\}} \quad (2)$$

其中  $i=1, 2, \dots, n$ ,  $j=1, 2, \dots, m$ 。

### 3.2. 指标筛选的相关性分析

两个指标的相关系数, 反映了两个指标的相关性。通过计算同一准则层中各个评价指标的相关系数, 删除相关系数较大的评价指标, 避免评价评价指标的信息重复。

#### 1) 计算指标之间的相关系数

设  $r_{ij}$  为第  $i$  个指标和第  $j$  个指标的相关系数,  $n$  为评价对象的个数,  $z_{ik}$  为第  $i$  个指标度  $k$  个评价对象的值,  $\bar{z}_i$  为第  $i$  个指标的平均值。则相关系数的计算公式[10]为:

$$r_{ij} = \frac{\text{cov}(i, j)}{\sqrt{D(i)D(j)}} = \frac{\sum_{k=1}^n (z_{ik} - \bar{z}_i)(z_{jk} - \bar{z}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (z_{ik} - \bar{z}_i)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n (z_{jk} - \bar{z}_j)^2}} \quad (3)$$

2) 规定一个临界值  $M$  ( $0 < M < 1$ ), 当  $|r_{ij}| > M$ , 删除其中一个评价指标; 当  $|r_{ij}| < M$ , 两个评价指标同时保留。

### 3.3. 指标筛选的主成分分析

#### 1) 主成分分析筛选指标的原理

通过对剩余的海选指标进行主成分分析, 得到每个指标的因子载荷, 因子载荷反应对评价结果的的影响程度, 因子载荷的绝对值越大的指标表示该指标越重要, 应该予以保留, 反之, 应予以删除。

#### 2) 相关模型

设  $F_i$  为第  $i$  个主成分 ( $i=1, 2, 3, \dots, k$ ),  $a_{ij}$  为第  $i$  个特征值所对应的特征向量的第  $j$  个分量,  $X_{ij}$  为第  $i$  个指标的观测值,  $k$  为主成分的个数,  $m$  为指标的个数。则第  $i$  个主成分  $F_i$  为:

$$F_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{im}X_m \quad (4)$$

其中  $i=1, 2, \dots, k$ 。即第  $i$  个主成分表示为评价指标  $X_i$  的线性组合, 反应了部分原有海选指标的信息。

#### 3) 主成分分析的具体步骤为[11]:

① 对原始数据进行标准化处理, 可参照 max-min 标准化处理方式。

② 求标准化数据的相关系数并建立相关系数矩阵  $R_{m \times m}$ 。相关系数  $r_{ij}$  由公式(3)求出来, 从而组成一个  $m \times m$ , 主对角线为 1 的对称矩阵。

$$R_{m \times m} = \begin{pmatrix} 1 & \cdots & r_{m1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

③ 计算相关系数矩阵  $R$  的特征值和特征向量。设相关系数矩阵的特征值为  $\lambda_i$  和特征向量  $U_i$  ( $i=1,2,\dots,m$ )，对每一个特征向量可以组成  $m$  个新的指标变量有  $U_j = (u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{mj})^T$ 。求解公式(6)特征向量，可进一步得到所对应的特征值。

$$\begin{cases} F_1 = u_{11}\tilde{x}_1 + u_{21}\tilde{x}_2 + \cdots + u_{n1}\tilde{x}_p \\ F_2 = u_{12}\tilde{x}_1 + u_{22}\tilde{x}_2 + \cdots + u_{n2}\tilde{x}_p \\ \vdots \\ F_m = u_{1m}\tilde{x}_1 + u_{2m}\tilde{x}_2 + \cdots + u_{nm}\tilde{x}_p \end{cases} \quad (6)$$

④ 计算特征值  $\lambda_i$  对应的方差贡献率  $\omega_i$ 。特征值  $\lambda_i$  反应了第  $i$  主成分  $F_i$  的信息贡献量，则其信息贡献率为：

$$\omega_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^k \lambda_i} \quad (7)$$

$\omega_i$  表示第  $i$  个主成分  $F_i$  所占原始信息含量的  $\lambda_i$  占主成分所表示全部原始信息含量的比例。

⑤ 将所求出的特征值从小到大排列，选取特征值大于 1 所对应的主成分，当前  $p$  个大于 1 的特征值  $\lambda_p$  的累积方差贡献率大于 85% 时，再次选取前  $P$  个特征值所对应的主成分。其中第  $i$  个指标在第  $j$  个主成分上的因子载荷  $b_{ij}$  为：

$$b_{ij} = a_{ij} \sqrt{\lambda_i} \quad (8)$$

⑥ 根据  $|b_{ij}|$  的大小进行筛选。

### 3.4. 指标体系构建构建的合理性标准

根据前文用数据的方差来表示指标信息含量的思路，可用海选前的指标所含数据信息和筛选后的指标数据所含信息的比较值来判定指标体构建是否合理[10]。

设  $S$  为指标数据的协方差矩阵； $trS$  为协方差的迹，表示为协方差矩阵的主对角线上各个指标的方差之和； $A$  为筛选后的指标个数， $B$  为筛选前(海选)的指标个数。则筛选后的指标对海选指标的信息贡献率  $H$  为：

$$H = \frac{trS_A}{trS_B} \quad (9)$$

## 4. 国际陆港竞争力指标体系的构建

### 4.1. 指标的海选

本文选取了中国 2021 年 182 个国际陆港作为评价对象，由相关文献，企业及港口管理部门得到 58 个海选指标。国际陆港及其所对应的地级市见表 1，海选评价指标体系见表 2。

第一次筛选：根据可观测性原则，对海选指标数据进行初选，将不可获取的数据和有缺失值的对应的指标进行删除，以保证建立的评价体系切实可行。删除的相关的指标有：港务区/陆港区规划面积，集装箱中心站占地面积，物流园产业规划面积等 20 个评价指标，对于定性指标本文全部据删除。

**Table 1.** International dry ports and their corresponding prefecture-level cities  
**表 1.** 国际陆港及其所对应的地级市

国际陆港名称	对应的地级市
(1)徐州淮海国际陆港	徐州市
(2)江苏太仓港苏州高新区无水港	苏州市
(3)苏州工业园区陆港(苏州综合保税区)	苏州市
(4)台州智慧陆港新区	台州市
(5)余姚无水港	宁波市
(6)丽水无水港	丽水市
...	...
(177)南宁国际综合物流园	南宁市
(178)南丹陆港保税物流园区	河池市
(179)柳州铁路港	柳州市
(180)河池无水港	河池市
(181)桂林苏桥无水港	桂林市
(182)广西崇左(东盟)国际物流园	崇左市

**Table 2.** Preliminary evaluation indicator system for international dry port competitiveness  
**表 2.** 国际陆港竞争力海选评价指标体系

准则层	指标层	单位	一次筛选结果
国际陆港内部基础设施发展水平 Y1	投资金额	亿元	保留
	保税物流中心(B型)个数	个	保留
	保税物流中心(B型)面积	平方公里	保留
	海关特殊监管区域个数	个	保留
	海关特殊监管区域面积	平方公里	保留
	国家物流枢纽个数(陆港型, 空港型, 生产型, 商贸型)	个	保留
	港务区/陆港区规划面积	平方公里	剔除
	集装箱中心站占地面积	平方公里	剔除
	物流园产业规划面积	平方公里	剔除
	仓储建筑面积	平方公里	剔除
	多式联运物流园占地面积	平方公里	剔除
	行政服务中心面积	平方公里	剔除
	冷链物流设施面积	平方公里	剔除
	绿化面积	平方公里	剔除
集装箱吊车数量	个	剔除	
国际陆港物流发展水平 Y2	全市邮政业务收入	万元	保留
	固定资产投资额	万元	保留
	固定资产投资价格指数(上年 = 100)	无	保留

续表

国际陆港物流发展 水平 Y2	市辖区全年公共汽电车客运总量	万人	保留
	物流产业增加值(交通运输、仓储、邮政)	亿元	保留
	固定资产投资(项目投资)交通运输、仓储和邮政业	亿元	保留
	固定资产投资交通运输、仓储和邮政业增速	亿元	保留
	全市公路客运量	万吨	保留
	全市公路货运量	万吨	保留
	境内公路总里程	公里	保留
	高速公路里程	公里	保留
	中心站的年度吞吐量	TUE	剔除
	平均货物处理时间	件/分钟	剔除
	国际货运班列数	列	剔除
	班列货物重量	万吨	剔除
	班列货运价值	万元	剔除
	国际陆港商贸发展 水平 Y3	全市限额以上批发零售商贸企业数	个
全市港、澳、台商投资企业个数		个	保留
全市外商投资企业		个	保留
自贸区的面积		平方公里	保留
全市货物进口额		万元	保留
全市货物出口额		万元	保留
实际利用外资		亿元	保留
全市年末金融机构人民币各项贷款余额		万元	保留
全市年末金融机构人民币各项存款余额		万元	保留
国际知名度, 品牌影响力		评分	剔除
商贸企业数量		个	剔除
企业满意度		评分	剔除
区域经济发展水平 Y4	市辖区地区生产总值	亿元	保留
	市辖区地区生产总值增长率	%	保留
	全市第一产业占地区生产总值的比重	%	保留
	全市第二产业占地区生产总值的比重	%	保留
	全市第三产业占地区生产总值的比重	%	保留
	全市户籍人口	万人	保留
	全市限额以上批发零售业商品销售总额	万元	保留
	全市地方一般公共预算收入	万元	保留
	全市地方一般公共预算支出	万元	保留
	第一产业增加值	万元	保留
	第二产业增加值	万元	保留
	第三产业增加值	万元	保留
全市人均地区生产总值	万元	保留	

第一次筛选后, 国际陆港内部基础设施发展水平指标剩余 6 个, 国际陆港物流发展水平剩余 8 个, 国际陆港商贸发展水平剩余 9 个, 区域经济发展水平没有删除, 有 13 个, 一起剩余 36 个指标。第一次筛选后的指标体系见表 3。

**Table 3.** International dry port competitiveness indicator system after the first screening

**表 3.** 国际陆港竞争力第一次筛选后的指标体系

准则层	指标层	序号	单位	指标方向
国际陆港内部基础设施 发展水平 Y1	投资金额	x1	亿元	正向
	保税物流中心(B 型)个数	x2	个	正向
	保税物流中心(B 型)	x3	平方公里	正向
	海关特殊监管区域个数	x4	个	正向
	海关特殊监管区域	x5	平方公里	正向
	国家物流枢纽个数 (陆港型, 空港型, 生产型, 商贸型)	x6	个	正向
国际陆港物流发展 水平 Y2	全市邮政业务收入	x7	万元	正向
	固定资产投资额	x8	万元	正向
	固定资产投资价格指数(上年 = 100)	x9	无	正向
	市辖区全年公共汽电车客运总量	x10	万人	正向
	全市公路客运量	x11	万人	正向
	全市公路货运量	x12	万吨	正向
	境内公路总里程	x13	公里	正向
	高速公路里程	x14	公里	正向
国际陆港商贸发展 水平 Y3	全市限额以上批发零售商贸企业数_法人数	x15	个	正向
	全市港、澳、台商投资企业个数	x16	个	正向
	全市外商投资企业	x17	个	正向
	自贸区的面积	x18	平方公里	正向
	全市货物进口额	x19	万元	正向
	全市货物出口额	x20	万元	正向
	实际利用外资	x21	亿元	正向
	全市年末金融机构人民币各项贷款余额	x22	万元	正向
	全市年末金融机构人民币各项存款余额	x23	万元	正向
区域经济发展水平 Y4	市辖区地区生产总值	x24	亿元	正向
	市辖区地区生产总值增长率	x25	%	正向
	全市第一产业占地区生产总值的比重	x26	%	正向
	全市第二产业占地区生产总值的比重	x27	%	正向
	全市第三产业占地区生产总值的比重	x28	%	正向
	全市户籍人口	x29	万人	正向
	全市限额以上批发零售业商品销售总额	x30	万元	正向



续表

区域经济发展水平 Y4	全市地方一般公共预算收入	x31	万元	正向
	全市地方一般公共预算支出	x32	万元	正向
	第一产业增加值	x33	万元	正向
	第二产业增加值	x34	万元	正向
	第三产业增加值	x35	万元	正向
	全市人均地区生产总值	x36	万元	正向

#### 4.2. 数据来源与标准化处理

##### 1) 数据来源

本文数据 x1~x6, x18 来自各地区国际陆港官网, 国际陆港协会, 《国际陆港白皮书 2020》, 及各地方政府官网; 本文的其他数据来自各地级市政府统计年鉴。本文的原始数据和标准化处理结果见表 4。

第 1 列为 ID, 代表 182 个国际陆港的名称; 第二列为城市, 代表 182 个国际陆港所在的地级市; 第 3 列到第 38 列为原始指标数据; 第 39 列到第 74 列为标准化处理后的数据。

##### 2) 标准化处理

本文可观测的指标均为正向指标。根据公式(1)进行正向标准化处理。下面以徐州淮海国际陆港中的投资金额 x1 的数据为例进行说明。所选的原始数据为 425, 按列求出最大值和最小值分别为 900 和 0.05。则求原始数据  $u_{34,1}$  标准化后为:

$$x_{1,1} = \frac{425 - 0.05}{900 - 0.05} = 0.4722$$

其他指标数据同理可得。

**Table 4.** Original data of international dry ports and results after data standardization

**表 4.** 国际陆港原始数据及数据标准化后的结果

ID (1)	城市(2)	原始指标数据			标准化后指标数据		
		投资金额 (3)	...	全市人均地区生产总值(38)	投资金额 (39)	...	全市人均地区生产总值(74)
徐州淮海国际陆港	徐州市	425.0000		89634.0000	0.4722		0.4249
江苏太仓港苏州高新区无水港	苏州市	0.1000		177505.0000	0.0001		0.9605
苏州工业园区陆港(苏州综合保税区)	苏州市	0.7000		177505.0000	0.0007		0.9605
台州智慧陆港新区	台州市	51.7000		87089.0000	0.0574		0.4094
余姚无水港	宁波市	0.1000		153922.0000	0.0001		0.8168
丽水无水港	丽水市	2.0000		68101.0000	0.0022		0.2937
...	...	...	...	...	...	...	...
南宁国际综合物流园	南宁市	25.0000		58241.0000	0.0277		0.2336
南丹陆港保税物流园区	河池市	21.0200		30461.0000	0.0233		0.0643
柳州铁路港	柳州市	142.9100		73328.0000	0.1587		0.3256

续表

河池无水港	河池市	25.0000	30461.0000	0.0277	0.0643
桂林苏桥无水港	桂林市	10.0000	46767.0000	0.0111	0.1637
广西崇左(东盟)国际物流园	崇左市	30.0000	47336.0000	0.0333	0.1671

### 4.3. 基于相关性分析的指标筛选

#### 1) 计算相关系数

将表 4 第 39 列~74 列的数据按照国际陆港内部基础设施发展水平 Y1, 国际陆港物流发展水平 Y2, 国际陆港商贸发展水平 Y3, 区域经济发展水平 Y4 计算每个准则层内各个指标层的两两相关系数  $r_{ij}$ 。

规定一个临界值  $M = 0.9$ , 当  $r_{ij} > 0.9$  时, 则删去一个指标, 反之则同时保留。

相关系数大于 0.9 的指标筛选结果如表 4 所示, 通过相关性删除 5 个指标。筛选后的指标评价体系如表 5 所示。

**Table 5.** Screening results of indicators with correlation coefficients greater than 0.9  
**表 5.** 相关系数大于 0.9 的指标筛选结果

序号	准则层	保留的指标	删除的指标	相关系数
(1)	Y1	x5	x4	0.9266
(2)	Y3	x19	x23	0.9342
(3)			x31	0.947
(4)		x24	x32	0.962
(5)	Y4		x35	0.9765
(6)		x30	x31	0.945
(7)		x32	x35	0.9532
(8)		x31	x35	0.9846

**Table 6.** International dry port competitiveness evaluation indicator system after correlation screening  
**表 6.** 相关性筛选后的国际陆港竞争力评价指标体系

准则层	指标层	序号	单位
国际陆港内部基础设施发展水平 Y1	投资金额	x1	亿元
	保税物流中心(B 型)个数	x2	个
	保税物流中心(B 型)	x3	平方公里
	海关特殊监管区域	x5	平方公里
	国家物流枢纽个数(陆港型, 空港型, 生产型, 商贸型)	x6	个
	国际陆港物流发展水平 Y2	全市邮政业务收入	x7
固定资产投资额		x8	万元
固定资产投资价格指数(上年 = 100)		x9	无
市辖区全年公共汽电车客运总量		x10	万人
全市公路客运量		x11	万人

续表

国际陆港物流发展水平 Y2	全市公路货运量	x12	万吨
	境内公路总里程	x13	公里
	高速公路里程	x14	公里
国际陆港商贸发展水平 Y3	全市限额以上批发零售商贸企业数	x15	个
	全市港、澳、台商投资企业个数	x16	个
	全市外商投资企业	x17	个
	自贸区的面积	x18	平方公里
	全市货物进口额	x19	万元
	全市货物出口额	x20	万元
	实际利用外资	x21	亿元
区域经济发展水平 Y4	全市年末金融机构人民币各项贷款余额	x22	万元
	市辖区地区生产总值	x24	亿元
	市辖区地区生产总值增长率	x25	%
	全市第一产业占地区生产总值的比重	x26	%
	全市第二产业占地区生产总值的比重	x27	%
	全市第三产业占地区生产总值的比重	x28	%
	全市户籍人口	x29	万人
	全市限额以上批发零售业商品销售总额	x30	万元
	第一产业增加值	x33	万元
	第二产业增加值	x34	万元
	全市人均地区生产总值	x36	万元

#### 4.4. 基于主成分分析的指标筛选

通过主成分分析法对剩余指标进行第二次筛选。当提取主成分方差累计贡献率超过 85% 时候, 保留各个主成分因子载荷绝对值大的指标。本研究选取指标的原则: 准则层的第一主成分的因子载荷大于 0.7 的指标, 剩余主成分提取因子载荷绝对值最大的指标。

下面以区域经济发展水平 Y4 为例进行说明。将表 6 准则层中的区域经济发展水平的相关数据代入公式(4)~(9)中, 结果如表 7 第一行和表 8 所示。

当提取 3 个主成分时, 方差的累计贡献率为  $0.4449 + 0.2121 + 0.1454 = 0.8024 < 0.85$ 。当提取 4 个主成分时, 方差的累计贡献率  $0.8024 + 0.0897 = 0.8921 > 0.85$ 。故应提取 4 个主成分。

在第一主成分因子载荷系数中, 大于 0.7 的指标有 x24, x29, x30, x34, x36 保留; 第二、第三、第四主成分因子载荷系数中, 最大绝对值的对应因子的指标依次为 x27, x33, x25 保留。其他的因子删除。其余准则层类似。

故在准则层 Y4 中通过主成分分析保留指标有 x24, x25, x27, x29, x30, x33, x34, x36。从而删除的指标有 x26, x28。类似地, 在准则层 Y1 中, 没有删除的指标; 在准则层 Y2 中, 删除 x13; 在准则层 Y3 中, 没有删除的指标。通过主成分分析删除 3 个指标。

最后构建的国际陆港竞争力指标体系共有 28 个指标, 见表 9。

**Table 7.** Variance contribution rate of principal components**表 7.** 主成分方差贡献率

准则层	第一主成分 贡献率	第二主成分 贡献率	第三主成分 贡献率	第四主成分 贡献率	第五主成分 贡献率	累计方差 贡献率
Y1	0.4879	0.2149	0.1670	-	-	0.8698
Y2	0.4562	0.1352	0.1206	0.1157	0.0675	0.8953
Y3	0.6619	0.1530	0.0785	-	-	0.8934
Y4	0.4449	0.2121	0.1454	0.0897	-	0.8921

**Table 8.** Principal component factor loadings for criterion layer Y4**表 8.** 准则层 Y4 主成分因子载荷系数

准则层	指标层	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分
Y4	x24	0.941	0.142	-0.118	0.008
	x25	0.215	-0.341	0.080	0.911
	x26	-0.584	0.626	0.046	0.119
	x27	0.072	-0.865	0.449	-0.169
	x28	0.534	0.385	-0.594	0.080
	x29	0.738	0.407	0.494	-0.011
	x30	0.814	0.001	-0.382	-0.063
	x33	0.529	0.516	0.640	0.039
	x34	0.930	-0.041	0.182	-0.075
	x36	0.729	-0.512	-0.213	-0.077

**Table 9.** Final evaluation indicator system for international dry port competitiveness**表 9.** 最终的国际陆港竞争力评价指标体系

准则层	指标层	单位	序号	指标方向
国际陆港内部基础设施发展水平 Y1	投资金额	亿元	x1	正向
	保税物流中心(B 型)个数	个	x2	正向
	保税物流中心(B 型)	平方公里	x3	正向
	海关特殊监管区域面积	平方公里	x4	正向
	国家物流枢纽个数(陆港型, 空港型, 生产型, 商贸型)	个	x5	正向
国际陆港物流发展水平 Y2	全市邮政业务收入	万元	x6	正向
	固定资产投资额	万元	x7	正向
	固定资产投资价格指数(上年 = 100)	无	x8	正向
	市辖区全年公共汽电车客运总量	万人	x9	正向
	全市公路客运量	万人	x10	正向
	全市公路货运量	万吨	x11	正向
	高速公路里程	公里	x12	正向

续表

国际陆港商贸发展水平 Y3	全市限额以上批发零售商贸企业数_法人数	个	x13	正向
	全市港、澳、台商投资企业个数	个	x14	正向
	全市外商投资企业	个	x15	正向
	自贸区的面积	平方公里	x16	正向
	全市货物进口额	万元	x17	正向
	全市货物出口额	万元	x18	正向
	实际利用外资	亿元	x19	正向
	全市年末金融机构人民币各项贷款余额	万元	x20	正向
	区域经济发展水平 Y4	市辖区地区生产总值	亿元	x21
市辖区地区生产总值增长率		%	x22	正向
全市第二产业占地区生产总值的比重		%	x23	正向
全市户籍人口		万人	x24	正向
全市限额以上批发零售业商品销售总额		万元	x25	正向
第一产业增加值		万元	x26	正向
第二产业增加值		万元	x27	正向
全市人均地区生产总值		万元	x28	正向

#### 4.5. 指标体系构建的合理性判定

将表 4 的第 39 到 74 列的数据结合表 8 相关指标代入公式(10)中, 得到筛选指标的信息贡献率为:

$$H = \frac{trS_B}{trS_A} = \frac{0.8299}{0.9564} = 82.38\%$$

即用 50% (28/56)的指标反映了 82.38%的信息, 可以认为本研究构建的指标体系是合理的。

### 5. 研究结论

1) 通过相关分析的思路, 删除反应信息冗余的指标, 保证指标体系的简洁性; 通过主成分分析的思路, 筛选出对国际陆港物流评价结果有重要影响的指标。这种方法能保证保留的指标对评估结果至关重要。

2) 最终建立了包含国际陆港内部基础设施发展水平、国际陆港物流发展水平、国际陆港商贸发展水平和区域经济发展水平一起四个方面的、28 个指标的国际陆港物流评价指标体系, 即用 50%的海选指标反映了 82.38%的原始信息。这样的指标体系不仅结构清晰、简洁, 而且对评价结果有显著影响, 能够有效地衡量国际陆港的竞争力。

3) 最终建立的国际陆港竞争力评价体系可以为国际陆港管理部门的决策提供科学依据, 有助于促进国际陆港的自身发展和政府部门的有效管理。这套体系提供了一个全面评价和改进国际陆港竞争力的工具, 使所需评估的国际陆港能够在复杂的交通运输网络中更为有效地定位自身, 并制定出更具前瞻性的发展战略。

### 基金项目

RCEP 框架下湖南怀化国际陆港竞争力测度、提升路径与可视化关键技术研究(2023JJ50459)。

## 参考文献

- [1] Tang, S., et al. (2020) Research on Competitiveness Evaluation of Major Inland Ports in China. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **526**, Article ID: 012174. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/526/1/012174>
- [2] 陈菊红, 黄鹏. 基于 Fuzzy-ANP 的国际陆港竞争力评价[J]. 系统工程, 2011, 29(12): 88-95.
- [3] 姜健乐. 青岛国际陆港竞争力评价及提升策略研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东财经大学, 2023.
- [4] 蒋明羽. 甘肃(兰州)国际陆港竞争力评价及对策研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2022.
- [5] 闫茹. 基于云模型的国际陆港综合竞争力提升路径研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 长安大学, 2022.
- [6] 贺博雅. 集成场视角下西安国际陆港竞争力评价及提升对策研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 长安大学, 2019.
- [7] 魏晓雪. 西安国际陆港发展水平评价及对策研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2017.
- [8] 车文. 昆明国际陆港物流绩效评价及动力学仿真研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.
- [9] 中国开发区协会陆港分会. 中国陆港发展报告 2020[M]. 北京: 中国财富出版社, 2021.
- [10] 迟国泰, 曹婷婷, 张昆. 基于相关-主成分分析的人的全面发展评价指标体系构建[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(1): 111-119.
- [11] 陈思云, 彭俊. 基于 PCA 和 DEA 分析法的港口物流绩效评价[J]. 物流工程与管理, 2012, 34(2): 40-42.