

基于因子分析的固体废物处理与循环研究

刘在平

湖北万绿生态环境科技有限公司, 湖北 荆门

收稿日期: 2024年3月27日; 录用日期: 2024年4月28日; 发布日期: 2024年8月2日

摘要

文章采用了因子分析理论对我国26个省、市、自治区在固体废物处理和循环利用方面的性能进行了深入分析。选取了九个与固体废物相关的统计指标, 这些指标基于我国统计年鉴的数据, 旨在全面评估固体废物的管理效率及其循环利用的能力, 通过对这些指标的综合分析, 发现东部地区在处理能力和技术上相较于中西部地区有明显优势, 尽管中西部地区近年来在这方面取得了显著进步。此外, 当涉及到固体废物的回收能力时, 中西部地区表现出稍强的能力, 这可能反映了该地区在资源循环利用方面的重视和投入。文章的成果不仅为中国各地区在固体废物处理和回收利用方面的政策制定和技术改进提供了有价值的参考, 同时, 对优化国家层面的固体废物管理策略也提供了科学依据。

关键词

因子分析理论, 固体废物, 循环利用

Research on Solid Waste Treatment and Recycling Based on Factor Analysis

Zaiping Liu

Hubei Wanlv Ecological Environmental Technology Co. Ltd., Jingmen Hubei

Received: Mar. 27th, 2024; accepted: Apr. 28th, 2024; published: Aug. 2nd, 2024

Abstract

In this study, factor analysis theory was employed to conduct an in-depth analysis of the performance of 26 provinces, cities, and autonomous regions in China regarding solid waste treatment and recycling. This research selected nine statistical indicators related to solid waste, based on data from the China Statistical Yearbook, aiming to comprehensively assess the efficiency of solid waste management and its recycling capabilities. Through a holistic analysis of these indicators, it was found that the eastern regions possess a noticeable advantage in treatment capabilities and technology compared to the central and western regions, despite significant improvements in

文章引用: 刘在平. 基于因子分析的固体废物处理与循环研究[J]. 环境保护前沿, 2024, 14(4): 733-740.

DOI: 10.12677/aep.2024.144098

these areas in the latter regions in recent years. Additionally, when it comes to the recycling capacity of solid waste, the central and western regions demonstrated a slightly superior ability, which may reflect the emphasis and investment in resource recycling in these areas. The outcomes of this study not only provide valuable references for the policy formulation and technological improvements in solid waste treatment and recycling across various regions in China but also offer scientific support for optimizing the national strategy for solid waste management.

Keywords

Factor Analysis Theory, Solid Waste, Recycling

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

在当今快速发展的工业化时代，固体废物的处理和管理已成为全球面临的一大挑战。随着人口增长和城市化进程的加快，类似生活垃圾等固体废物的数量呈指数级增长[1]-[5]，如果处理不当，将对土壤、地表水、地下水和空气环境造成严重影响，进而影响人类健康和生态平衡[6]-[8]。因此，探索有效的固体废物循环利用方法和管理成为环境保护和可持续发展的重要课题。本研究通过对我国 26 个省市自治区的固体废物管理数据进行深入分析，采用因子分析理论[9]-[11]，针对固体废物处理和循环利用的现状 & 效率问题，通过对固体废物的产生量、利用量、处置量等关键指标的综合评价，揭示了各省市自治区在固体废物管理方面的差异和特点，以及影响这些差异的主要因素，研究对比了东部和中西部地区在固体废物处理能力方面的差异，发现尽管东部地区在整体处理能力上优于中西部，但中西部地区的处理效率近年来有显著提高。为了更好地理解固体废物管理的复杂性和多维度特性，本文基于详实的数据和科学的分析方法，构建了固体废物处理和循环利用的评价模型，旨在为政府部门和环保机构提供决策支持，促进固体废物管理政策的制定和优化，进而提高固体废物资源化利用率，减少环境污染，为实现绿色发展和生态文明建设做出贡献。

2. 因子分析理论

因子分析理论是一种多变量统计分析方法，它用于探索数据中的潜在结构，特别是在众多观测变量之间存在复杂关系时，这种分析思想的核心思想是识别出少数几个未观测的潜在变量(即因子)，这些潜在变量可以解释多个观测变量间的相关性。通过因子分析，研究人员能够简化数据结构，将众多观测变量归结为较少数的因子，这些因子反映了数据中的基本维度或结构。

利用因子分析法，构建相关性矩阵 R [12]-[14]，在完成相关性验证之后，通过计算得出该矩阵的贡献率、特征值及其累积贡献率[15] [16]，然后，利用正交旋转法确定主要成分，并对这些成分进行详细的命名与分析，最终使用因子得分矩阵来计算每个因子的得分，以及对它们进行综合评估。

在本研究中，选取了 2022 年我国 26 个省、市、自治区在固体废物处理方面的评估指标。研究初期，明确了评估指标，将 Y_1 至 Y_9 定义为固体废物处理的关键因子分析指标，具体内容见表 1，随后，通过横向比较和对数据完整性的检查，基于中国统计年鉴获取了 26 个省市自治区的详细数据，确保了数据的权威性和可靠性，最后，采用 SPSS 软件进行因子分析，根据各主要成分，并运用特征值法[17] [18]计算得出不同地区的综合评分。

Table 1. Factor analysis index of solid waste
表 1. 固体废物因子分析指标

变量	废物类型	分析指标
Y ₁	固体废物	产生量
Y ₂		利用量
Y ₃		处置量
Y ₄		贮存量
Y ₅		弃量
Y ₆	危险废物	产生量
Y ₇		利用量
Y ₈		处置量
Y ₉		贮存量

3. 固体废物处理和循环利用研究

3.1. 检验相关性

在进行相关性检验前首先需要利用 SPSS 软件对数据进行标准化处理，然后对 Y₁~Y₉ 指标的平均值进行相关性检验，检验结果如表 2 所示。

Table 2. Correlation test result
表 2. 相关性检验结果

相关	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉
Y ₁	1	0.895	0.813	0.527	0.142	0.267	0.276	0.124	0.139
Y ₂	0.895	1	0.653	0.254	-0.053	0.485	0.525	0.309	0.104
Y ₃	0.813	0.653	1	0.181	-0.068	-0.129	-0.049	-0.121	-0.144
Y ₄	0.527	0.254	0.181	1	0.627	0.138	-0.004	-0.013	0.431
Y ₅	0.142	-0.053	-0.068	0.627	1	-0.093	-0.116	-0.009	-0.013
Y ₆	0.267	0.485	-0.129	0.138	-0.093	1	0.906	0.699	0.444
Y ₇	0.276	0.525	-0.049	-0.004	-0.116	0.906	1	0.617	0.093
Y ₈	0.124	0.309	-0.121	-0.013	-0.009	0.699	0.617	1	0.073
Y ₉	0.139	0.104	-0.144	0.431	-0.013	0.444	0.093	0.073	1

根据表 2 的结果显示，观察到以下高度相关的情况：1) 固体废物的贮存量与危险废物的贮存量之间存在较高的相关性；2) 危险废物的产生量、利用量和处置量之间存在较高的相关性；3) 固体废物的产生量、利用量和处置量之间也存在较高的相关性。

在进行相关性检验时，显著性水平为 0.00021，小于通常的显著性水平 0.05，这表明检验结果与相关矩阵系数相符，支持进行因子分析，并表明结果的可信度较高。

3.2. 分析因子

利用 SPSS 软件对样本数据进行主成分分析，通过计算得到各因子的贡献率，采用特征值大于 1 的标准来确定恰当的因子数量，进而通过正交旋转法确定因子荷载矩阵中的主要成分，这一过程能够计算出样本数据总方差的解释率，如表 3 展示，根据旋转后的因子荷载(见表 4)及得分系数矩阵(见表 5)，可以进一步分析和解释各个因子的作用。

Table 3. Total variance of interpretation
表 3. 解释总方差

元件	起始特征值			提取平方和			旋转平方和		
	总计	变异的/%	累加/%	总计	变异的/%	累加/%	总计	变异的/%	累加/%
1	3.358	37.311	37.311	3.358	37.311	37.311	2.797	31.074	31.074
2	2.231	24.795	62.106	2.231	24.795	62.106	2.626	29.183	60.257
3	1.653	18.374	80.479	1.653	18.374	80.479	1.82	20.223	80.479
4	0.982	10.912	91.391						
5	0.392	4.357	95.748						
6	0.171	1.907	97.655						
7	0.12	1.335	98.989						
8	0.001	0.01	98.999						
9	0	0.001	99						

注：空白代表此处没有数据。

Table 4. Factor load matrix after rotation
表 4. 旋转后因子荷载矩阵

变量	元件		
	1	2	3
Y ₆	0.956	0.08	0.131
Y ₇	0.887	0.168	-0.075
Y ₈	0.787	0.001	-0.021
Y ₁	0.16	0.929	0.264
Y ₂	-0.204	0.917	-0.091
Y ₃	0.424	0.847	0.03
Y ₄	-0.001	0.292	0.892
Y ₅	-0.172	-0.018	0.757
Y ₉	0.339	-0.083	0.544

Table 5. Score coefficient matrix
表 5. 得分系数矩阵

变量	元件		
	1	2	3
Y ₁	-0.014	0.342	0.07
Y ₂	0.094	0.309	-0.06
Y ₃	-0.14	0.393	-0.123
Y ₄	-0.039	0.045	0.479
Y ₅	-0.077	-0.057	0.431
Y ₆	0.345	-0.048	0.049
Y ₇	0.317	0.01	-0.074
Y ₈	0.291	-0.055	-0.026
Y ₉	0.121	-0.103	0.307

3.3. 选择主因子

在利用 SPSS 软件进行数据分析时,从表 3 所示的结果可知,有三个因子的特征值超过了 1,这指示了这三个因子作为主要的共同因子被 SPSS 选中,这些选中的因子共同解释了总变量的 80.79%的方差,这一比例显著超出了 80%的标准,从而证明了这三个因子足以代表原始数据集中的大部分信息,而对整体分析结果的影响微乎其微。此外,旋转后的因子对总方差的贡献与未旋转前相比差异不大,这表明因子旋转并未改变因子解释方差的总量,而是更优化了因子之间的独立性。碎石图(图 1)提供了一种直观的方式来理解每个因子对总方差的贡献程度,通过碎石图可见,前三个因子拥有较高的特征值,这表明它们携带了更多的信息和分析价值,这三个因子作为数据分析的核心,对于理解数据集结构和动态至关重要。而第四个至第九个因子的特征值相对较小,这说明它们所包含的信息量有限,对于整体数据结构和解释的贡献较小,因此在分析中可以被排除,这样的处理不仅简化了模型,也确保了分析的焦点更加集中在最具影响力的因子上。

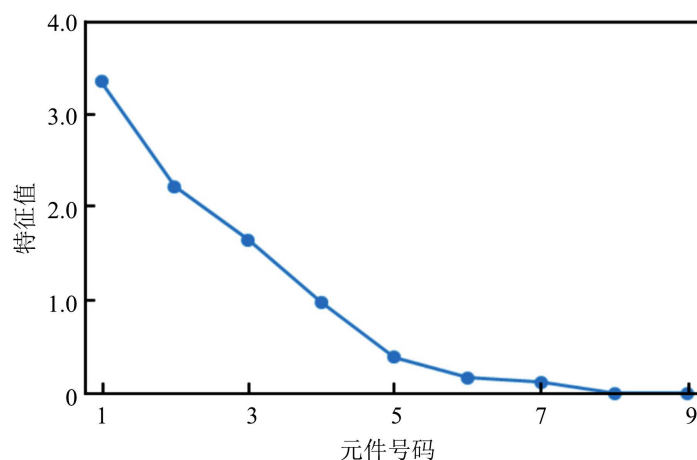


Figure 1. Scree plot
图 1. 碎石图

根据数据分析的结果, 可以看到不同因素在环境管理中所扮演的角色以及它们对整体表现的贡献, 尤其是在处理固体废物管理的过程中, 这些因素的影响变得更加显著, 从表 4 的数据中, 可以明显看出, 在固废废物管理多个方面中, 有三个关键因素分别突出其重要性。

因素 1 突显了危险废物管理的关键方面, 即处置量、利用量和产生量。这三项指标合起来, 不仅揭示了危险废物处理的当前状况, 也反映了危险废物利用和生产能力的强弱。特别是, 这个因素对总体表现的贡献最为显著, 达到了 37.311%, 这表明在环境管理和废物处理策略中, 加强对危险废物的管理是至关重要的。通过有效的处置和利用策略, 不仅可以减少环境污染, 还可以提高资源的再利用效率。因素 2 聚焦于固体废物的处理, 涵盖了其利用量、贮存量和产生量。这一组合指标反映了固体废物管理的综合能力, 包括如何有效地回收、存储以及减少固体废物产出, 其贡献率为 24.795%, 说明在废物管理中, 提高固体废物的利用率和优化存储条件也是极其重要的。合理的管理不仅有助于资源的节约和循环使用, 还能避免对环境造成更大的负担。因素 3 集中在危险废物的贮存量、固体废物的丢弃量及其贮存量上, 主要反映了固体废物回收的能力, 这个因素的贡献率达到了 18.374%, 表明提高废弃物的回收和安全存储能力, 对于整体环境管理策略的成功也是非常关键的。这不仅能够减轻对环境的压力, 还能提高资源的回收利用率, 进一步促进可持续发展。

综上所述, 通过深入分析废物管理中的这些关键因素及其贡献率, 可以更好地理解如何优化环境管理策略, 特别是在处理危废和固体废物方面, 有效的废物管理不仅要求对废物的产生、利用、贮存和处置进行全面考虑, 还需要结合实际情况, 采取综合措施, 以实现环境保护和资源可持续利用的双重目标。

通过对 F_1 、 F_2 和 F_3 三个维度的深入分析, 能够全面地解读和衡量固体废物的处理与利用效率, 进而对我国各省市自治区在这一领域的整体表现进行综合性的评估。根据表 5 中的数据, F_1 、 F_2 和 F_3 因子的具体计算公式如下所示。

$$\begin{aligned} F_1 &= -0.014ZX_1 + 0.094ZX_2 - 0.140ZX_3 - 0.039ZX_4 - 0.077ZX_5 + 0.345ZX_6 + 0.317ZX_7 + 0.291ZX_8 + 0.121ZX_9 \\ F_2 &= 0.342ZX_1 + 0.309ZX_2 + 0.393ZX_3 + 0.045ZX_4 - 0.057ZX_5 - 0.048ZX_6 + 0.010ZX_7 - 0.055ZX_8 - 0.103ZX_9 \\ F_3 &= 0.070ZX_1 - 0.060ZX_2 - 0.123ZX_3 + 0.479ZX_4 + 0.431ZX_5 + 0.049ZX_6 + 0.074ZX_7 - 0.026ZX_8 + 0.307ZX_9 \end{aligned}$$

其中 ZX_1 至 ZX_9 代表线性组合方程中的变量, 通过应用特征值法[19]-[21], 计算出每个因子在总体贡献中的占比, 公式如下。

$$F = \left(\frac{3.358}{7.242} \right) \times F_1 + \left(\frac{2.231}{7.242} \right) \times F_2 + \left(\frac{1.653}{7.242} \right) \times F_3$$

基于这一占比进一步求解出各个因子的综合得分 F , 这一结果便于对我国各省市自治区在固体废物利用与处理方面的效率进行排名。

4. 结果评价

通过深入分析不同省市自治区在危险废物和固体废物处理方面的能力, 可以发现地区间存在明显差异。特别地, 从 F_1 因素的排名来看, 东部地区在危险废物处理方面的能力较为突出, 这可能与东部地区经济发展水平较高、环保技术和设施较为先进有关。这一现象表明, 东部地区在环保意识和资源配置方面相对成熟, 能够更有效地处理和利用危险废物。

相比之下, F_2 因素的排名显示, 固体废物处理水平在东部、中部和西部之间的差异并不像危险废物处理那样显著。这种情况反映了固体废物管理在全国范围内的普遍提升, 尤其是中部和西部地区通过技术进步和政策支持, 缩小了与东部地区在固体废物处理方面的差距, 这种平衡发展的趋势有助于促进全国环保工作的均衡发展, 确保各地区环境治理的有效性。

F_3 因素的分析进一步揭示了中西部地区在某些方面的优势,特别是在固体废物回收能力方面。这可能与中西部地区近年来经济快速发展、对环境保护投入增加有关。这种变化表明,中西部地区正在逐渐弥补以往在资源配置和环保领域的不足,通过加大环保投资,提高了固体废物的利用和处理效率。

综合排名的情况进一步印证了中西部地区在环保方面的进步,尤其是在固体废物处理和利用方面。中西部 6 个省市自治区进入综合排名前 10 名,这一成绩显著,显示了中西部地区环保领域的迅速进步。此外,排名后 10 名中中西部和东部的分布也说明了全国各地在环保投入和技术应用上的普遍提升,尤其是在固体废物的处理和利用方面。

这一趋势与我国政府加大对环保行业的重视和资金投入密切相关,通过政策引导和资金支持,促进了环保技术的创新和应用,尤其是在固体废物处理领域,有效提升了各省市自治区的环保能力。随着环保标准的提高和环保意识的增强,预计我国各地区在环保领域的表现将持续改善,为实现绿色发展和可持续发展目标奠定坚实基础。

5. 结论

1) 虽然我国在固体废物处理与回收方面的整体水平不及欧美等先进国家,但其发展速度正以迅猛的态势年复一年地提升,未来固废处理与循环利用的发展,需进一步依靠技术创新和政策支持。技术上,需要研发更高效、环境友好的固废处理技术,政策上,应加大对固废循环利用的激励和支持,促进循环经济的发展。

2) 相较于中西部,东部地区在处理固体废物和危险废物的能力上展现出更为明显的优势,针对不同地区固废处理能力的差异,建议加强区域间的合作与资源共享,利用各地区的优势资源,共同提升固废处理与循环利用的整体效率。

3) 在回收和处理危险废物及固体废物的能力上,中西部地区略显领先于东部,表现出一定的优势。建议中西部和东部相互借鉴,做到均衡发展。

参考文献

- [1] 张海燕, 郑仁栋, 袁璐璐, 等. 固体废弃物资源化的发展趋向分析[J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(10): 81-83.
- [2] Li, N., Han, R.R. and Lu, X.H. (2018) Bibliometric Analysis of Research Trends on Solid Waste Reuse and Recycling during 1992-2016. *Resources Conservation and Recycling*, **130**, 109-117.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.11.008>
- [3] 尹涓, 章连香. 环境固体废物的监测技术及其应用[J]. 中国无机分析化学, 2019, 9(5): 19-24.
- [4] 刘亚威, 王军民, 刘威. 基于相关矩阵的纵向碎纸拼接方法[J]. 计算机与现代化, 2019(10): 43-47.
- [5] 徐师, 张大超, 吴梦, 等. 硫酸盐还原菌在处理酸性矿山废水中的应用[J]. 有色金属科学与工程, 2018, 9(1): 92-97.
- [6] 郭喜伟, 汤艳峰. 关于工业固体废物综合利用的探讨[J]. 绿色环保建材, 2019(9): 36-37.
- [7] 赵晴晴, 刘娟. 基于因子分析的固体废物处理利用实证分析[J]. 再生资源与循环经济, 2019, 12(7): 3-8.
- [8] 张选旭, 张洁. 离子型稀土冶炼环境治理与工艺优化[J]. 有色金属科学与工程, 2015, 6(2): 130-135.
- [9] 王艳华, 苗长虹, 胡志强, 等. 专业化、多样性与中国省域工业污染排放的关系[J]. 自然资源学报, 2019, 34(3): 586-599.
- [10] 石靖, 易宇, 郭学益. 湿法冶金处理含砷固废的研究进展[J]. 有色金属科学与工程, 2015, 6(2): 14-20.
- [11] 罗顺, 游玉萍, 林义民, 等. 我国工业固废的产业规模和处理技术现状[J]. 材料研究与应用, 2018, 12(3): 178-182.
- [12] 罗国旺, 田盈, 冀云. 基于横纵因子分析和 C-D 生产函数的经济增长研究——以中国西部为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2014, 31(1): 117-123.
- [13] 解坤, 张俊芳. 基于 KMO-Bartlett 典型风速选取的 PCA-WNN 短期风速预测[J]. 发电设备, 2017, 31(2): 86-91.

-
- [14] Li, J.H. and Yu, W.W. (2013) Research on the Measuring of the Order of Eco-Industrial Chains for Recycling Waste Material Based on the Theory of Dissipative Structure. *Applied Mechanics and Materials*, **345**, 400-403. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.345.400>
- [15] 曾青云, 薛丽燕, 曾繁钢, 等. 氨氮废水处理技术的研究现状[J]. 有色金属科学与工程, 2018, 9(4): 83-88.
- [16] 彭团儿, 李洪潮, 刘玉林, 等. 工业固废制备发泡陶瓷研究及应用进展[J]. 陶瓷, 2019(12): 9-22.
- [17] 石晓晓, 陈同斌, 郑国砥, 等. 有机固废堆肥过程的水分平衡模型研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2019(6): 7-13.
- [18] 魏烈旭. 重金属工业固废余热锅炉设计及余热利用[J]. 有色冶金节能, 2019, 35(5): 54-57.
- [19] 孙晓刚, 王海龙, 邢军, 等. 固废制备微晶泡沫玻璃的研究进展[J]. 金属矿山, 2019(11): 204-207.
- [20] 龚云, 顾萍. 固废新政策下的柔印固废解决方案[J]. 印刷杂志, 2019(6): 13-14.
- [21] 郑佩, 王庆庆, 陈静雅. 固废中砷的测定不确定度的评定及表征[J]. 资源节约与环保, 2019(10): 61-62.