

基于最优组合权重和 GRA 的城市绿色制造水平评价 ——以“中国制造 2025”示范城市为例

王鸣涛¹ 叶春明²¹

(1. 安阳师范学院 计算机与信息工程学院, 河南 安阳 455000;

2. 上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

【摘要】:“中国制造 2025”战略任务之一是全面推进绿色制造, 科学地评价示范城市绿色制造水平具有重要意义。论文通过界定新时代绿色制造的内涵, 构建了城市绿色制造水平评价指标体系, 使用最优组合权重和灰色关联法, 对“中国制造 2025”12 个示范城市进行实证研究。研究发现: (1) 12 个城市整体绿色制造水平中等, 广州、青岛和合肥为“高水平”, 成都和武汉为“中高水平”, 宁波、长春和泉州为“中等水平”, 湖州和沈阳为“中低水平”, 赣州和吴忠为“低水平”。(2) 城市间绿色制造水平差异明显, 大体上省会城市和计划单列市优于地级市。(3) 成都、青岛、广州、合肥分别是绿色生产、绿色排放、绿色科技、绿色成效方面的领军者, 经验值得借鉴。(4) 多数城市四个维度的水平不均衡, 马太效应明显。最后, 从四个维度出发, 给出了提升绿色制造水平的建议。

【关键词】:“中国制造 2025”示范城市 绿色制造 评价指标体系 最优组合权重 灰色关联法

【中图分类号】: F062.2; F299.23 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)03-115-08

党的十八大提出推进城市绿色发展, 而城市发展要实现绿色化, 实施绿色制造是关键。2015 年 5 月,《中国制造 2025》印发,“全面推行绿色制造”作为九大战略之一被提出。随后印发的《绿色制造工程实施指南(2016—2020 年)》,提出开发万种绿色产品、建设千家绿色工厂、打造百家绿色园区、创建绿色供应链等任务。2016 年 8 月,“中国制造 2025”示范城市工作启动,迄今,宁波、泉州、沈阳、长春、武汉、吴忠、青岛、成都、赣州、广州、合肥、湖州共 12 个城市和 4 大城市群入选,为全国推行绿色制造起到了示范作用。

如今,“中国制造 2025”示范城市的绿色制造水平现状如何? 哪些城市走在了前列? 哪些城市有待提升? 对这些问题的研究将有助于厘清示范城市绿色制造的脉络。科学构建城市绿色制造水平评价体系,测度绿色制造水平状况,把握各示范城市绿色制造的优势与不足,对于整体推进示范城市的绿色制造具有重要的理论和实践价值。

1 文献综述

从既有文献来看,已有学者注意到了区域绿色制造水平评价的重要性,开展了实证研究。王雪曼^[1]从经济和环境双重效益出发,构建了绿色制造水平评价指标体系,包括绿色增长、绿色发展、能源节控、科技创新四个维度,以肥城市为对象,使用灰色

作者简介: 王鸣涛, 硕士, 讲师, 研究方向为管理科学、信息管理。E-mail:wangmingtao368@126.com

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于深度学习和自学习的半导体绿色共享制造协同优化研究”(71840003)

关联 TOPSIS 模型进行了实证研究。王雪秋和赵玉婷^[2]从发展效益、生产过程、能源利用、环境保护、科技创新五个维度，构建了绿色制造水平评价指标体系，并对吉林省进行了测度分析。刘旭红和揭筱纹^[3]以工业为视角，从高效发展、低碳发展、清洁生产、循环发展四个维度构建了工业绿色制造水平评价指标体系，以西部 11 个省份为对象，使用线性加权法对其进行了评价。游建民和张伟^[4]构建了区域绿色制造绩效评价体系，包括发展效益、资源利用、污染排放、环境保护、科技创新五个维度，运用线性加权法对（贵州）国家生态文明试验区的绿色制造绩效进行了测度。李博洋和顾成奎^[5]从产品全生命周期出发，构建了区域绿色制造水平评价指标体系，包括产品生态化设计、清洁化生产、高效利用能源、回收再生资源、产品耦合一体化五个维度，使用线性加权法对东部 9 个工业发达省市进行了实证研究。Wang 等^[6]基于“压力—状态—响应”模型和生命周期理论，从环境属性、能源属性、资源属性、经济属性四个维度构建了绿色制造评价指标体系。张绪美和张华^[7]从经济、生态、社会三个维度构建了生态系统绿色制造评价指标体系。

现有研究为本文奠定了重要基础，但仍然存在待完善之处：（1）评价体系框架不够系统科学。既有文献有着各自的评价维度，但各个维度之间逻辑关系不够紧密，较为松散，缺乏系统性。（2）评价指标没有与时俱进，没有跟随近年来我国推进绿色制造的重要举措。既有文献缺乏绿色产品、绿色工厂等能够较好测度绿色制造成效的指标，缺乏绿色制造系统集成项目、绿色制造技术奖等能够较好测度绿色科技的指标。（3）尚无对绿色制造引领城市——“中国制造 2025”示范城市的研究。

基于此，本文着力完善上述三个方面：（1）在界定新时代城市绿色制造内涵的基础上，提出绿色生产、绿色排放、绿色科技、绿色成效四个维度，构成系统科学的评价体系框架。（2）结合我国推进绿色制造实践工作，与时俱进甄选指标，尤其是绿色科技和绿色成效方面的指标，构建有特色的指标体系。（3）以“中国制造 2025”12 个示范城市为对象，对其绿色制造水平进行排名和薄弱维度分析，为提升城市绿色制造水平提出针对性的建议。

2 新时代城市绿色制造内涵界定

美国制造工程师学会从环境影响角度认知绿色制造，最早明确给出了内涵，即绿色制造的目标是使产品从设计、生产、使用到报废处理的全生命周期中对环境的危害达到最小^[8]。国内学者拓展了视角，将能耗和效益融入绿色制造内涵，认为绿色制造是产品在全生命周期中，对能源资源的消耗最少，对环境的危害最小，并使得经济效益和社会效益协调优化^[9,10,11]。

随着《中国制造 2025》《绿色制造工程实施指南》《绿色制造标准体系建设指南》等政策的出台，我国绿色制造进入了新时代。在工信部的统筹下，推出绿色制造系统集成项目的申报和研究，强调科学技术对绿色制造的重要支撑作用。绿色产品、绿色工厂在全国各地区有序研发和创建，这给新时代我国绿色制造的实施赋予了新的内容，即生态效益。

基于此，本文将科学技术和生态效益融入新时代城市绿色制造的内涵，即在产品全生命周期中，使用先进的技术和装备（绿色科技）提高能源利用率，用较少的能源实现较大的产值（绿色生产），同时最大程度减少污染物排放（绿色排放），最终实现绿色产品、绿色工厂等生态效益和经济效益协调优化（绿色成效）。

3 评价指标体系构建

以新时代城市绿色制造内涵为依据，提出绿色生产、绿色排放、绿色科技、绿色成效四个评价维度。通过阅读文献^[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]和咨询专家学者，着重参考工信部相关文件和 12 个城市的统计年鉴、水资源公报、环境统计公报，构建了全面的城市绿色制造水平评价指标体系，其特色和新颖性体现在与时俱进，将绿色科技和绿色成效融入评价框架，将绿色工厂、绿色产品、绿色制造系统集成项目、绿色制造技术奖、绿色发明专利融入指标体系，将平均量指标和绝对量指标有机结合。

3.1 绿色生产（A）

城市经济发展离不开制造业，能源资源消耗不可避免。绿色生产是指通过提高能源资源利用率，消耗较少的能源资源，实现较大的产值，设计了4个指标： A_1 、 A_2 分别为万元工业增加值能耗、煤耗，用于测度煤炭、石油、天然气等能源的节能降耗水平，煤炭占比最大，设为单独指标； A_3 、 A_4 分别为万元工业增加值用电量、用水量，分别用于测度电力和水资源的节能降耗水平。

3.2 绿色排放 (B)

绿色排放是指使用污染控制与治理技术，将排放量降到最低。因为污染物种类较多，查阅《中国环境统计年鉴》的历年统计指标，关注“十一五”规划以来国家层面指定的约束性减排污染物，确定COD、氨氮、 SO_2 、氮氧化物4种污染物作为对象，设计了4个指标： B_1 、 B_2 分别为万元工业增加值COD排放量、氨氮排放量，用于测度对废水主要污染物控制和治理的效果； B_3 、 B_4 分别为万元工业增加值 SO_2 排放量、氮氧化物排放量，用于测度对废气主要污染物控制和治理的效果。

3.3 绿色科技 (C)

绿色制造离不开绿色科技的强力支撑。无论是绿色生产中的节能降耗，还是绿色排放中的污染物控制和治理，或是绿色成效中绿色产品的研发和绿色工厂的建设，都需要借助先进的科学技术，设计了4个指标： C_1 为绿色发明专利数量，是指以绿色技术为主题的发明专利数量，绿色技术致力于节约资源和保护环境，主要包括能源替代、绿色材料、节能减排、污染治理等技术^[12]，该指标从专利角度测度绿色科技水平； C_2 为技术市场成交额，反映一个城市科技创新和技术转移的成效，从技术成交活跃度测度绿色科技水平； C_3 为绿色制造系统集成项目数量，该类项目聚焦建设绿色设计平台、创新和突破绿色关键技术和装备等，该指标从项目研究角度测度绿色科技水平； C_4 为绿色制造技术奖数量，包括中国机械工程学会的“绿色制造科技进步奖”、生态环境部的“环保科技奖”、中国能源研究会的“能源技术创新奖”、中国可再生能源学会的“可再生能源科技奖”、中国节能协会的“节能减排科技奖”，着重奖励生产制造、污染防治、能源清洁高效利用、可再生能源研究、节能减排等领域具有重大应用价值的新技术、新设备、新产品等，该指标从获奖的高科技角度测度绿色科技水平。

3.4 绿色成效 (D)

绿色成效是指绿色制造实施产生的生态效益和经济效益，设计了4个测度指标： D_1 、 D_2 分别为国家级绿色工厂数量、绿色产品数量，用于测度生态效益水平，绿色工厂是指实现了用地集约化、原料无害化、生产洁净化、废物资源化、能源低碳化的工厂^[13]，绿色产品是指对生态环境和人体健康无害或危害小、资源能源消耗少、品质高的产品^[14]； D_3 为规上工业企业利润额占营收比例， D_4 为规上工业企均利润，两者用于测度经济效益水平。

4 研究方法

4.1 最优组合赋权法

将专家主观赋权和客观赋权相结合，既能通过专家的经验对指标重要性加以区分，又能兼顾指标数据背后蕴藏的客观信息。本文使用AHP确定专家主观权重，使用熵权法确定客观权重，并根据最小鉴别信息原理将两类权重最优组合，步骤如下：

(1) 使用AHP确定专家主观权重。AHP，即层次分析法，通过咨询专家，对每层指标的判断矩阵赋值，可确定指标的AHP权重。

(2) 使用熵权法确定客观权重。熵权法通过计算信息熵体现每个指标的离散程度，信息熵越小，说明离散程度越大，该指标的权重就越大，计算步骤见公式(1)~公式(3)^[15,16]：

$$f_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^{12} y_{ij} \quad (1)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln 12} \sum_{i=1}^{12} (f_{ij} \times \ln f_{ij}) \quad (2)$$

$$W_j^2 = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^{16} (1 - e_j) \quad (3)$$

式中：设 y_{ij} 是第 i ($i=1, 2, \dots, 12$) 个城市中第 j ($j=1, 2, \dots, 16$) 个指标的原始数据。公式 (1) 表示对每个指标的原始数据进行归一化规范处理，公式 (2) 为计算每个指标的信息熵，公式 (3) 为计算每个指标的熵权。

(3) 将两类权重最优组合。设最优组合权重为，为了使与、最大程度接近，根据最小鉴别信息原理^[17]，构建目标函数，如公式 (4) 所示：

$$\begin{aligned} \min F &= \sum_{j=1}^{16} W_j \left(\ln \frac{W_j}{W_j^1} \right) + \sum_{j=1}^{16} W_j \left(\ln \frac{W_j}{W_j^2} \right) \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^{16} W_j &= 1, W_j > 0 \end{aligned} \quad (4)$$

采用 Lagrange 乘子法求解公式 (4)，可得：

$$W_j = \frac{\sqrt{W_j^1 \cdot W_j^2}}{\sum_{j=1}^{16} \sqrt{W_j^1 \cdot W_j^2}} \quad (5)$$

4.2 灰色关联法 (GRA)

评价城市绿色制造水平，需要使用能够处理多种因素的综合评价方法。近年来，学者们尝试使用灰色关联法 (grey relation analysis, GRA) 对城市建设、生态发展等进行综合评价^[18, 19]。灰色关联法对样本量要求不高，样本数据不需要符合典型的分布规律，计算量适中，具有很强的实用性，因此本文使用灰色关联法。灰色关联法通过比较评价对象与参考序列之间的关联度来进行排序，设 y_{ij} 是第 i ($i=1, 2, \dots, 12$) 个城市中第 j ($j=1, 2, \dots, 16$) 个指标的原始数据，步骤如下：

(1) 确定参考序列。对于正向指标，取 12 个城市原始数据的最大值，如公式 (6) 所示：

$$y_{0j} = \max(y_{ij}) \quad (9 \leq j \leq 16) \quad (6)$$

对于负向指标，取 12 个城市原始数据的最小值，如公式 (7) 所示：

$$y_{0j} = \min(y_{ij}) \quad (1 \leq j \leq 8) \quad (7)$$

(2) 构造原始矩阵。根据 12 个城市的原始数据和参考序列构成原始矩阵 Y，可表示为：

$$Y = \begin{bmatrix} y_{01} & y_{02} & \cdots & y_{0j} \\ y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{i1} & y_{i2} & \cdots & y_{ij} \end{bmatrix} \quad (8)$$

(3) 数据标准化处理。对于正向指标，按公式 (9) 处理，对于负向指标，按公式 (10) 处理，12 个城市的负向指标原始数据均不为 0。

$$x_{ij} = \frac{y_{ij}}{\max(y_{ij})} \quad (9 \leq j \leq 16) \quad (9)$$

$$x_{ij} = \frac{\min(y_{ij})}{y_{ij}} \quad (1 \leq j \leq 8) \quad (10)$$

得到标准化数据矩阵 X，可表示为：

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & x_{02} & \cdots & x_{0j} \\ x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} \end{bmatrix} \quad (11)$$

(4) 计算灰色关联系数 r_{ij} 。

$$r_{ij} = \frac{\min_i \min_j |x_{0j} - x_{ij}| + \rho \max_i \max_j |x_{0j} - x_{ij}|}{|x_{0j} - x_{ij}| + \rho \max_i \max_j |x_{0j} - x_{ij}|} \quad (12)$$

式中：分辨系数 $\rho = 0.5$ 。

(5) 计算各个城市绿色制造水平的灰色关联度 H_i 。

$$H_i = \sum_{j=1}^{16} W_j \times (r_{ij})^T \quad (i = 1, 2, \dots, 12) \quad (13)$$

5 评价研究

5.1 数据来源

根据搜集整理 2019 年的数据，数据来源为 12 个城市和相关省份 2020 年统计年鉴、2019 年环境统计年报、2019 年水资源公报以及截至 2019 年年底工信部的绿色制造名单，其中，绿色发明专利归类尚在起步阶段，暂用有效发明专利数量代替。

5.2 使用最优组合赋权法计算权重

通过给 4 位专家发送咨询信，对判断矩阵数值作平均处理，计算出 16 个指标的 AHP 权重 W_j^1 。根据公式（1）～公式（3），计算出 16 个指标的熵权 W_j^2 。根据公式（4）和公式（5），对 W_j^1 和 W_j^2 进行处理，得到最优组合权重 W_j 。

5.3 使用灰色关联法进行评价

根据公式（6）～公式（13），计算出 12 个城市的绿色制造水平灰色关联度并降序排列。其中，四个维度的灰色关联度计算需要确定各指标相对于所属准则层的最优组合权重。

5.4 评价结果分析

5.4.1 城市绿色制造水平差异分析

从极差率可以看出，5 个统计对象的最大值均是最小值的 2 倍以上，说明 12 个城市绿色制造及其四个维度水平存在显著的两极分化，尤其是绿色排放和绿色科技更为明显。

从变异系数可以看出，5 个统计对象的值均大于 0.1，借鉴文献[20]关于变异系数的解读，说明城市之间绿色制造及其四个维度水平差异明显，尤其是绿色排放更为显著。前 6 个城市中有 4 个是省会城市（广州、合肥、成都、武汉），2 个是计划单列市（青岛、宁波），优于一般地级城市，这是因为它们以其固有的行政资源优势，不断集聚人才、科技、资金等高端创新要素，共同助力绿色制造实施。

5.4.2 城市绿色制造水平等级分析

为了对 12 个城市的绿色制造水平进行科学的等级划分，本文采用系统聚类法，使用 SPSS 软件对绿色制造水平灰色关联度进行聚类，得到聚类树状图，如图 1 所示。从图 1 可以看出，12 个城市聚为五类，可划分为五个等级。12 个城市绿色制造水平 H_i 的平均值为 0.642，对比每类城市 H_i 均值与 0.642 之间的比值，适合采用“高水平”“中高水平”“中等水平”“中低水平”“低水平”表示五个等级。

12 个城市中，5 个城市为“高水平”和“中高水平”，4 个城市为“低水平”和“中低水平”，数量相当，说明 12 个城市绿色制造水平整体处于“中等水平”。

5.4.3 城市绿色制造水平薄弱维度分析

多数城市四个维度的水平不均衡，存在薄弱之处。

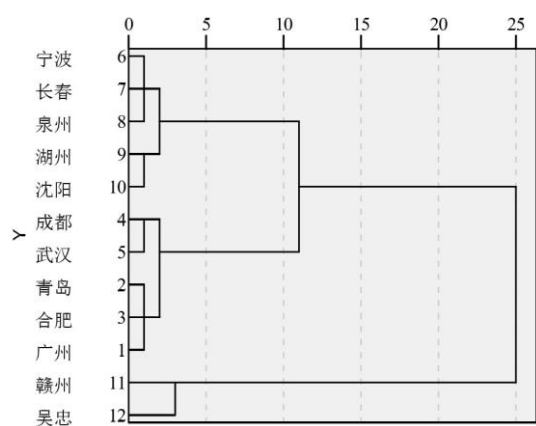


图1 “中国制造2025”示范城市绿色制造水平聚类树状图

(1) “高水平”城市。从排名看，广州的薄弱维度是“绿色生产”（排名第8），青岛的薄弱维度是“绿色科技”（排名第5），合肥的四个维度比较均衡，没有明显的短板。具体分析广州“绿色生产”4项指标，如图2所示，将标准化数据与绿色生产水平最高的成都相比。广州的4项指标差距明显，从大到小依次是 A_2 （煤耗）、 A_1 （能耗）、 A_3 （电耗）、 A_4 （水耗），尤其是 A_2 和 A_1 差距很大。可见，如何优化能源消费结构、在发展经济的同时降低传统能源消费量、借助其绿色科技水平（排名第1）提高能源利用率、深度推进低碳化生产是广州亟须解决的问题。

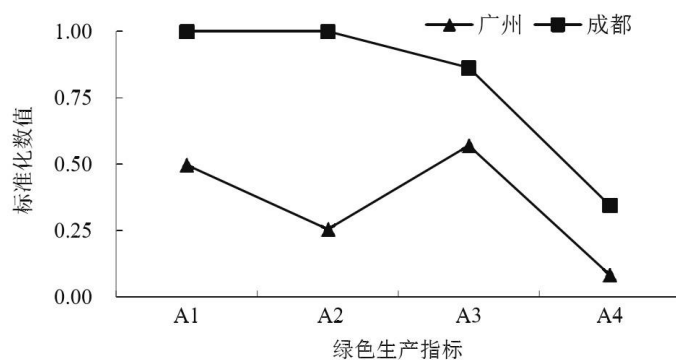


图2 2019年广州与成都的绿色生产指标对比

具体分析青岛“绿色科技”4项指标，如图3所示，将标准化数据与绿色科技水平最高的广州相比。青岛的差距主要是 C_1 （发明专利）和 C_2 （技术市场成交额），说明技术研发和科技成果转化的不足阻碍了青岛绿色制造水平的进一步提升，有待改善。

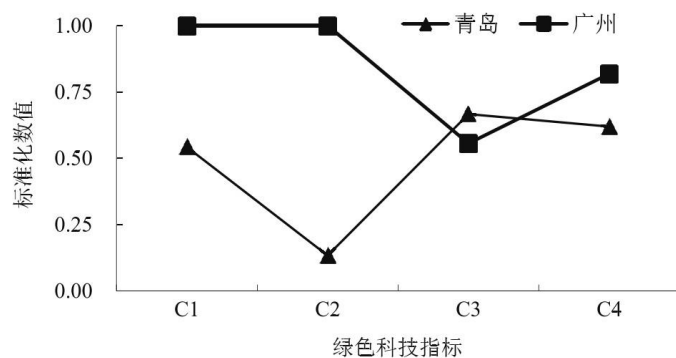


图 3 2019 年青岛与广州的绿色科技指标对比

(2) “中高水平”城市。从排名看，成都和武汉的薄弱维度均是“绿色成效”。具体分析相关的 4 项指标，如图 4 所示，将成都和武汉的标准化数据与绿色成效水平最高的合肥相比，两市最薄弱的指标均是权重最大的 D_2 （绿色产品），与合肥有着天壤之别，此外，武汉的 D_1 （绿色工厂）与合肥也有一定差距。因此，两市未来提升绿色制造水平的切入点，就是激励高新技术企业注重并加快研发国家级绿色产品，大力创建国家级绿色工厂。

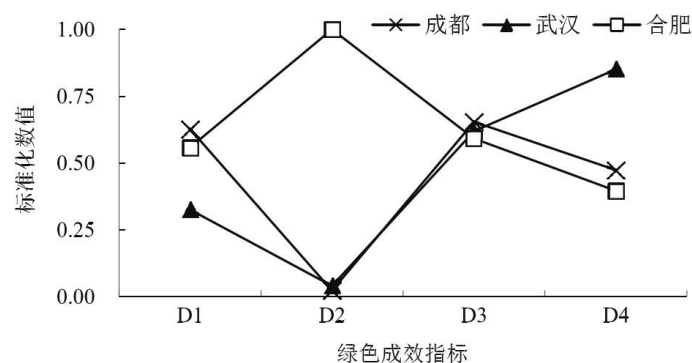


图 4 2019 年成都和武汉与合肥的绿色成效指标对比

(3) “中等水平”城市。从排名看，宁波的薄弱维度为“绿色生产”，长春没有显著的薄弱维度，泉州的薄弱维度为“绿色科技”。具体分析相关指标，如图 5 所示，将宁波和泉州的薄弱维度指标标准化数据分别与水平最高的成都和广州相比。与成都相比，宁波差距最大的指标是 A_2 ，其次是 A_1 和 A_3 ；泉州的 4 项指标与广州均有着较大的差距， C_1 、 C_2 、 C_4 最为突出，这些指标是两市提升各自薄弱维度水平的重要切入点。

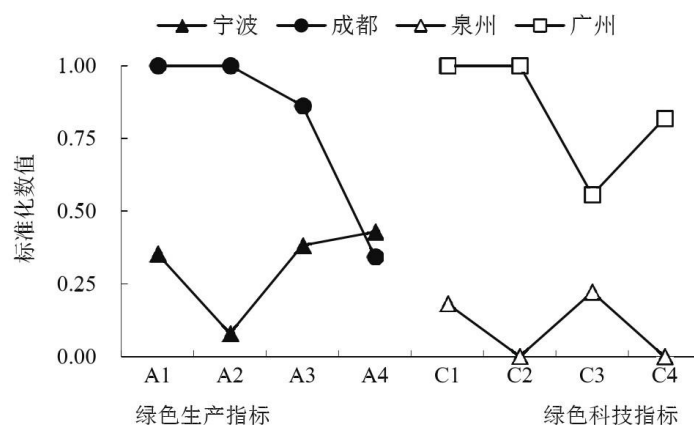


图 5 2019 年宁波与成都的绿色生产以及泉州与广州的绿色科技指标对比

(4) “中低水平”城市。从排名看，湖州和沈阳的薄弱维度较多，各有三项，湖州的薄弱之处是“绿色生产”“绿色排放”和“绿色科技”，沈阳的薄弱之处是“绿色生产”“绿色排放”和“绿色成效”。具体分析相关指标，如图 6 所示，将湖州和沈阳的薄弱维度指标标准化数据分别与水平最高的城市相比。绿色生产方面，湖州和沈阳的最大短板均是 A_2 ，其次是 A_1 和 A_3 ；绿色排放方面，两市的 4 项指标与青岛相比均有很大差距；绿色科技方面，湖州与广州的差距明显， C_2 、 C_1 、 C_4 最为突出；绿色成效方面，沈阳的薄弱指标指向 D_2 ，与合肥差距巨大。两市绿色制造水平受到多重因素制约，成因复杂，需要从各自短板之处着手

改进，各维度之间应该协同发展和优化，未来有较大的上升空间。

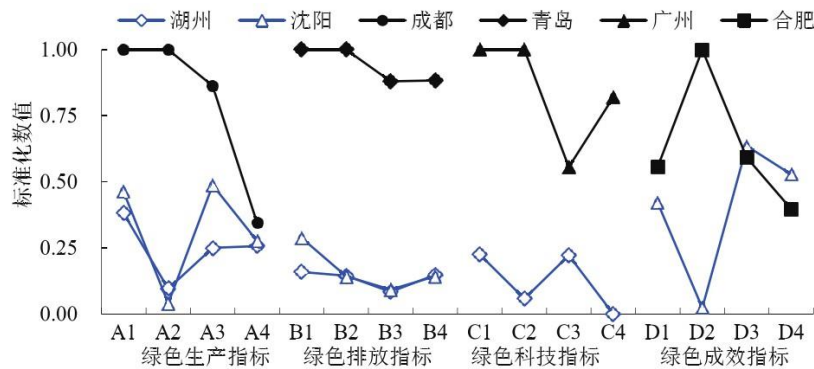


图 6 2019 年湖州、沈阳与四个维度水平最高的城市指标对比

(5) “低水平”城市。从排名看，赣州的薄弱维度有三项，为“绿色排放”“绿色科技”和“绿色成效”，吴忠的四个维度全方位落后，具体不再分析。

综上，多数城市四个维度的水平并不均衡，整体来看，等级越高的城市，薄弱维度越少，等级越低的城市，薄弱维度越多，马太效应明显。

5.4.4 城市绿色制造四个维度水平分析

(1) 绿色生产水平。成都和青岛的 H_i 值大幅领先，这反映了两市在提高能源利用效率、调整能源消费结构等方面走在了前列。成都的绿色生产水平最高，是因为其有效的绿色低碳发展方案^[21]。一是构建的“5+5+1”高质量现代化产业体系中，确定了本土化的五大先进制造业（电子信息、装备制造、医药健康、新型材料、绿色食品），聚焦高端绿色智能，清晰定位发展方向。二是做强绿色低碳制造业，重点做强新能源、节能环保、新能源汽车、绿色建筑等产业。三是强化工业用能单位节能管理，开展能耗实时在线监测，从根源上监管和处罚。

(2) 绿色排放水平。青岛、成都和广州的 H_i 值遥遥领先赣州、吴忠等落后地区，这表明了 3 市在系统治理工业污染物排放方面卓有成效，是“中国制造 2025”示范城市的典范。青岛的绿色排放水平最高，与其环保部门和公安部门联勤联动，以及严厉监管密切相关。在加强工业水污染防治方面，从五个角度着手^[22]：一是严格环境准入，禁批或从严审批高耗水、高污染物排放项目；二是全面取缔制革、电镀、印染等严重污染水环境的“十小企业”；三是实施污染源达标、改造、再提标工程，制定重点行业清洁改造专项治理方案；四是省级以上工业集聚区全部建设污水处理设备和排放在线监控设施；五是强化重金属污染监管与防治，确保排放达标。在强化工业废气污染防治方面，从三个角度着手^[23]：一是优化产业结构，严格制定高耗能、高污染行业准入条件；二是优化能源结构，控制煤炭消费总量，严格高耗煤项目准入，开展锅炉整治，大力发展清洁能源；三是加强综合防治，强化重点行业 VOCs 整治和专项执法，全面实施排污许可管理。

(3) 绿色科技水平。广州和武汉的 H_i 值大幅领先，说明两市的科技创新能力一流，是其他城市的榜样。广州的绿色科技水平最高，是因为在多方面采取了重要举措：一是聚焦关键核心技术攻关，实施重点领域研发计划，为其设立专项资金；二是加强科技创新平台建设，形成由国家级和省级重点实验室、省级新型研发机构、高水平创新研究院、科技孵化器、众创空间等构成的多层次宽领域的技术平台体系；三是大力推进科技成果转化，在高校和科研机构中开展试点，建设技术转移中心，充分发挥科技孵化器的功能；四是培育“高精尖特”科技企业，引领产业发展，鼓励牵头承担国家重大科技项目，按国家经费金额再拨付一定比例资金支持；五是强化人才支撑，通过实施“广聚英才计划”，引进高水平科学家及其团队，构筑“智力高地”。

(4) 绿色成效水平。合肥和青岛的 H_1 值大幅领先，两市的经验值得借鉴。合肥和青岛最大的优势体现在国家级绿色产品的研发，成绩斐然。合肥（135 种）、青岛（109 种）、排名第 1、第 2 位，远超第 3 位的广州（78 种）。合肥和青岛的绿色产品主要集中于洗衣机、电冰箱、空调、液晶电视等，作为“中国家电产业基地”，两市拥有众多知名公司。家电双雄海尔和海信以及澳柯玛坐落于青岛；合肥通过强大的政策扶持力度，4 家国际品牌和 12 家国家级品牌落户于此，如惠而浦、海尔、美的、格力、TCL 等，引爆产业集聚效应。因此，因地制宜、找准定位、提炼特色打造产业集聚区，对于创建绿色工厂、研发绿色产品，带动效益提升是绝佳的协同化发展道路。

综上，成都、青岛、广州、合肥分别是绿色生产、绿色排放、绿色科技、绿色成效方面的领军者，是其他城市的榜样，其经验值得借鉴。

6 结论与建议

6.1 结论

本文构建了城市绿色制造水平评价指标体系，以“中国制造 2025”12 个示范城市为对象，使用 AHP 和熵权法确定最优组合权重，运用灰色关联法进行评价，结论如下：

(1) 12 个城市绿色制造水平整体处于“中等水平”，其中，广州、青岛、合肥为“高水平”，成都、武汉为“中高水平”，宁波、长春、泉州为“中等水平”，湖州、沈阳为“中低水平”，赣州、吴忠为“低水平”。

(2) 城市间绿色制造水平差异明显，大体上，省会城市和计划单列市优于一般地级城市。

(3) 成都、青岛、广州、合肥分别是绿色生产、绿色排放、绿色科技、绿色成效方面的领军者，是其他城市的榜样。

(4) 多数城市四个维度的水平不均衡，马太效应明显。绿色制造水平较高的广州、青岛、成都、武汉，各仅有一项薄弱维度；绿色制造水平较低的湖州、沈阳、赣州、吴忠，则受到多重薄弱维度制约。

(5) 构建的指标体系和评价模型能够有效评价城市绿色制造水平，具备合理性和实用性。

6.2 建议

鉴于多数城市绿色制造水平存在薄弱维度，有必要借鉴领军城市的经验，采取措施加以改善和提升。

(1) 提升绿色生产水平方面。绿色生产水平薄弱和落后的城市，如广州、宁波、湖州、沈阳等，在借鉴成都经验的基础上，可以从三个方面着手：(1) 优化产业结构，淘汰落后产能。加大投资低能耗、高产值、效益好的战略性新兴产业，如新一代信息技术、高端装备制造业、新材料产业等；淘汰钢铁、有色、化工等重污染制造业的不合格产能。(2) 调整能源结构，加大节能力度。继续推进煤改气工程；大力发展可再生清洁能源，沿海城市（广州、宁波、泉州等）可大力发展海上风电，内陆城市（武汉、长春、湖州、沈阳等）可大力建设光伏电站。(3) 控制重点用煤领域煤炭消费，实时监测和处罚，压减高耗能、高排放、产能过剩行业用煤。

(2) 提升绿色排放水平方面。绿色排放水平薄弱和落后的城市，如湖州、沈阳、赣州等，在借鉴青岛经验的基础上，可以从四个方面着手：(1) 大力调整产业结构和能源结构，禁批高污染项目建设，从源头降低煤炭石油消耗，减少污染物排放。(2) 依据《重点排污单位名录管理规定（试行）》列出的废水、废气重污染行业名录，重点监管产值较高的行业，建立清洁生产企业清单，

重点推进清洁化改造项目。(3)提高环境保护税率和减半征税标准,控制排污许可量和许可证发放,倒逼企业穷尽一切办法减排。(4)创新科技促减排。如造纸业的纸浆无元素氯漂白技术、钢铁业的干熄焦技术、印染业的低排水染整工艺等。

(3)提升绿色科技水平方面。绿色科技水平薄弱和落后的城市,如青岛、泉州、湖州等,在借鉴广州经验的基础上,可以从四个方面着手:(1)完善绿色科技研发和成果应用推广的财税政策和奖励机制,设立专项资金,激发创新动力。(2)围绕本市重污染行业,引进和培育高科技人才及其团队,有针对性地研发行业专属和急需的节能降耗、污染减排、废弃物循环利用等领域的技术和装备。(3)加强省级和国家级创新园区、重点实验室和孵化平台建设,打造动力引擎,将绿色技术研发、应用推广和重点产业发展有机融合。(4)强化产学研联盟、高新技术企业联盟。汇聚最优秀人才和先进设备,承担国家重大科技项目,研发高精尖技术,为发明专利申报、技术市场交易、绿色制造系统项目申报、绿色制造技术奖评比构建最坚实力量。

(4)提升绿色成效水平方面。绿色成效水平薄弱和落后的城市,如成都、武汉、沈阳、赣州等,在借鉴合肥和青岛经验的基础上,可以从四个方面着手:(1)加强金融补贴和扶持力度。凡是申报成功“绿色工厂”和“绿色产品”的企业,均享受经费补贴、绿色信贷、税收优惠等,以此激发更多企业的积极性。(2)以绿色工厂和产品涉及行业为参照,结合本市产业特色,建设一个或多个行业的集聚区,集聚高端人才和技术等资源,激发产业活力,形成强大的规模效应。(3)以绿色工厂涉及行业为参照,聚焦本市重点行业,选拔一批综合实力强的企业,创建达到甚至超过国家级标准的绿色工厂,打响行业内知名度,获取更多客户的认可和青睐。(4)以绿色产品涉及行业为参照,基于本市优势行业,选择市场高需求、条件较成熟的产品进行研发。加大资金投入,构建技术联盟,持续创造超高标准的绿色产品,为企业带来丰厚的经济效益。

参考文献:

- [1]王雪曼.肥城市绿色制造发展水平动态评价及对策[D].泰安:山东农业大学,2020.
- [2]王雪秋,赵玉婷.吉林省绿色制造发展水平评价及影响因素的实证分析[J].今日财富,2020(5):13-14.
- [3]刘旭红,揭筱纹.西部地区工业绿色制造体系评价及提升对策研究[J].北方经济,2020(01):37-40.
- [4]游建民,张伟.国家生态文明试验区绿色制造绩效评价及影响因素研究——以贵州为例[J].贵州社会科学,2018(12):120-128.
- [5]李博洋,顾成奎.中国区域绿色制造评价体系研究[J].工业经济论坛,2015(2):23-30.
- [6]Wang Q S,Yuan X L,Cao D Y,et al.Research on evaluation index system for green manufacturing Based on PSR model and life cycle[J].Applied Mechanics and Materials,2010,34-35:79-84.
- [7]张绪美,张华.生态文明下绿色制造评价与优化框架体系[J].现代制造工程,2016(10):153-158.
- [8]Melngk S A,Smith R T.Green manufacturing[R].Dearborn:Society of Manufacturing Engineers,1996.
- [9]刘飞,李聪波,曹华军,等.基于产品生命周期主线的绿色制造技术内涵及技术体系框架[J].机械工程学报,2009(12):115-120.
- [10]陶永,李秋实,赵罡.面向产品全生命周期的绿色制造策略[J].中国科技论坛,2016(9):58-64.

-
- [11]曹华军,李洪丞,曾丹,等.绿色制造研究现状及未来发展策略[J].中国机械工程,2020(2):135-144.
- [12]郝吉明.展现绿色技术的力量[N].人民日报,2021-04-13(009).
- [13]杨檬,李胡升.《绿色工厂评价通则》国家标准解读[J].信息技术与标准化,2019(7):32-35.
- [14]付允,林翎,高东峰.GB/T 33761-2017《绿色产品评价通则》[J].标准生活,2018(6):34-37.
- [15]杜栋,庞庆华,吴炎.现代综合评价方法与案例精选[M].第3版.北京:清华大学出版社,2015.
- [16]贾海发,邵磊,罗珊.基于熵值法与耦合协调度模型的青海省生态文明综合评价[J].生态经济,2020(11):215-220.
- [17]刘晓悦,杨伟,张雪梅.基于改进层次法与CRITIC法的多维云模型岩爆预测[J].湖南大学学报(自然科学版),2021(2):118-124.
- [18]任永泰,于浩然,刘慧,等.基于因子分析与灰色关联的生态农业经济竞争力评价——以黑龙江省为例[J].生态经济,2020(12):85-92,153.
- [19]何梦婷,张玲玲.基于灰色关联-熵的威海市多水源利用综合效益分析[J].生态经济,2020(10):155-159.
- [20]刘继龙,刘璐,马孝义,等.不同尺度不同土层土壤盐分的空间变异性研究[J].应用基础与工程科学学报,2018(2):305-312.
- [21]邓凡.贯彻五中全会精神开辟成都绿色发展新境界[J].先锋,2020(11):42-44.
- [22]青岛市生态环境局.青岛:工业水污染防治全面发力[J].中国环境监察,2019(Z1):46-47.
- [23]青岛市人民政府.青岛市打赢蓝天保卫战作战方案(2018-2020年)[J].青岛市人民政府公报,2018(18):1-10.