# 基于灰色系统理论的绿色混凝土搅拌站综合评价应用研究

李祖辉 张烨

苏州中正工程检测有限公司

**摘要：**随着对环境保护意识的增强和可持续发展目标的追求，绿色建材特别是绿色混凝土的开发和应用成为建筑行业的重要趋势。绿色混凝土搅拌站作为绿色建材生产的关键环节，其综合性能评价对于推动行业的绿色转型和实现环境可持续性具有重要意义。这种评价不仅涉及环境保护，还包括经济效益和社会责任等多个维度，其复杂性和多元性要求使用一个全面且科学的评价方法。基于此，灰色系统理论以其在处理不确定性和不完整信息方面的优势，被认为是一种合适的评价工具。该理论能够有效处理评价过程中的复杂性和模糊性，为绿色混凝土搅拌站的综合评价提供了一个新的视角。基于灰色系统理论，建立了一个包含多个维度和评价指标综合评价模型。研究表明：通过基于灰色系统理论的绿色混凝土搅拌站综合评价模型对江苏省A绿色混凝土搅拌站进行综合评价，得出A绿色混凝土搅拌站的综合评分为6.423，介于合格和较好之间，基于该评价结果，提出了A绿色混凝土搅拌站在环境保护、经济效益、社会责任三个维度的改进建议。

**关键词：**灰色系统理论；绿色混凝土；绿色混凝土搅拌站；综合评价；评价模型

# Research on the Comprehensive Evaluation Application of Green Concrete Mixing Stations Based on Grey System Theory

**Abstract:** With the increasing awareness of environmental protection and the pursuit of sustainable development goals, the development and application of green building materials, especially green concrete, has become an important trend in the construction industry. As a key link in the production of green building materials, the comprehensive performance evaluation of green concrete mixing plant is of great significance in promoting the green transformation of the industry and achieving environmental sustainability. This evaluation not only involves environmental protection, but also includes economic benefits and social responsibility and other dimensions, whose complexity and diversity require the use of a comprehensive and scientific evaluation method. Based on this, grey system theory, with its advantages in dealing with uncertainty and incomplete information, is considered a suitable evaluation tool. The theory can effectively deal with the complexity and ambiguity in the evaluation process and provides a new perspective for the comprehensive evaluation of green concrete batching plants. Based on the grey system theory, a comprehensive evaluation model containing multiple evaluation indicators and dimensions is established. The study shows that the comprehensive evaluation of A green concrete mixing plant in Jiangsu Province through the comprehensive evaluation model of green concrete mixing plant based on grey system theory yields a comprehensive score of 6.423 for A green concrete mixing plant, which is between qualified and better, and based on this evaluation result, suggestions have been proposed for the A green concrete mixing station in three dimensions: environmental protection, economic efficiency, and social responsibility.

**Keywords:** grey system theory; green concrete; green concrete mixing plant; comprehensive evaluation; evaluation model

# 0 引言

在当前全球气候变化和资源紧张的背景下，绿色混凝土搅拌站的发展成为行业关注的焦点。绿色混凝土搅拌站作为实现建筑行业可持续发展的重要途径，不仅能有效减少建筑材料生产过程中的能源消耗和废弃物排放，还能提高资源利用效率，从而对环境产生较小的负面影响。随着环保标准的提高和社会对可持续发展的需求增长，绿色混凝土搅拌站的综合评价成了一个紧迫的议题。近年来，业界和学术界对于绿色混凝土搅拌站的评价方法进行了广泛的研究。传统的评价方法往往侧重于经济效益的量化，而在环境和社会责任方面的考量不够全面。这种单一维度的评价方式难以全面反映绿色混凝土搅拌站的综合表现，尤其是在环境保护和社会责任方面的贡献。

为了全面评价绿色混凝土搅拌站的综合性能，灰色系统理论作为一种有效的决策和评价工具被引入到这一领域。灰色系统理论主要用于处理不确定性和不完整信息的问题，适用于复杂系统的分析和评估。在绿色混凝土搅拌站的评价中，这一理论能够有效处理评价过程中的不确定性和信息不完整性问题，为评价提供了新的方法论基础[1]。文章将构建一个基于灰色系统理论的绿色混凝土搅拌站综合评价模型，并通过实证研究来验证该模型的有效性，旨在为绿色混凝土搅拌站的综合评价提供一个科学、全面的方法，为建筑行业的可持续发展提供理论支持。

# 1文献综述

## 1.1绿色混凝土概念

绿色混凝土作为绿色建筑材料的一种，融合了绿色建材的基本属性和混凝土的特定需求。1999年的“首届全国绿色建材发展与应用研讨会”上，绿色建材被定义为与自然环境和谐共生、无有害成分、无污染和无放射性的建筑材料[2]。作为这一类别的重要组成部分，绿色混凝土不仅应具备这些普遍特性，还需满足混凝土的功能性和使用性要求。虽然目前尚无统一的绿色混凝土定义，但吴中伟院士基于高性能混凝土提出了绿色混凝土的概念，突出了其环保和性能优势。与传统混凝土相比，绿色混凝土在耐久性和强度上表现更优，通过资源循环利用和减少有害物质排放，达到保护环境的目标，与环境实现和谐共生。综上所述，绿色混凝土的显著特点包括：减少水泥用量以促进资源循环利用，具有较高的力学性能和耐久性，节能环保，以及提供安全舒适的生存环境。传统混凝土与绿色混凝土的对比如表1所示。

表1 传统混凝土与绿色混凝土的对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 对比项 | 传统混凝土 | 绿色混凝土 |
| 制造过程 | 对环境造成的压力较大，使用的材料以不可再生资源为主 | 对环境的压力较小，通过回收废料和资源，可以减少污染物的排放 |
| 使用过程 | 对环境造成的压力较大，存在噪音污染，性能较差，不能满足长时间的使用要求 | 对环境造成的压力较小，使用绿色混凝土可以降低噪音，高性能材料可以降低能源负荷 |
| 功能性 | 只能满足必要的功能性和耐久性 | 能够保护、美化环境与自然和谐共生 |

## 1.2绿色混凝土搅拌站

随着国家“环保风暴”行动的推进，混凝土搅拌站生产企业纷纷推出了一种被行业称为“第五代绿色环保混凝土搅拌站”的全封闭工厂式搅拌站。这种新型搅拌站采用了创新的技术和设计，旨在减少对环境的负面影响，更加灵活和高效地生产绿色混凝土[3]。张虹莉（2017）探讨了技术改造在绿色混凝土搅拌站中的具体应用，以杭州某混凝土搅拌站为例分析了其技术改进，并使用数学统计学方法对混凝土搅拌站的技术改进进行了评价[4]。满丽莹（2019）指出新型绿色环保混凝土搅拌站将对混凝土生产过程中的粉尘污染、废水外排、噪音污染进行处理，并将再生骨料和废弃资源进行循环回收利用[5]。宁雪莲（2023）指出绿色混凝土搅拌站将朝着工艺创新化、设备智能化、环保节能化方向发展[6]。

# 2绿色混凝土搅拌站综合评价模型构建

## 2.1确定评价目标

明确评价目标是评价过程的基础和出发点。评价目标的确定应遵循科学性、全面性和针对性的原则，确保评价结果能够全面反映搅拌站的综合性能和可持续发展水平。评价目标应涵盖环境、经济和社会三个主要维度。评价目标的确定应充分考虑利益相关者的需求和期望。通过与政府部门、行业协会、客户和社区等利益相关者的沟通和协商，可以确保评价目标更加全面和公正，更好地服务于搅拌站和社会的共同利益。

## 2.2确定评价指标

在绿色混凝土搅拌站综合评价模型的构建过程中，评价指标应综合反映搅拌站在环境保护、经济效益和社会责任方面的表现，且具有可操作性和科学性[7]。评价指标如表2所示。

表2 确定评价指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 一级指标 | 二级指标 | 指标说明 |
| 环境保护 | 能源消耗量 | 电力和燃料的消耗量等 |
| 废物排放量 | 包括固体废物和废水排放量 |
| 排放物的处理 | 包括对水泥粉尘、废弃混凝土、废水和其他废物的处理 |
| 循环利用率 | 指混凝土搅拌站在生产过程中对废弃物和资源进行回收和再利用的比率 |
| 排放物的污染程度 | 混凝土搅拌站排放的废气、废水和粉尘等对环境造成污染的程度或强度。 |
| 经济效益 | 成本效益 | 包括生产成本、运营成本和维护成本等 |
| 投资回报率 | 投资收益与投资成本之间的比率 |
| 市场竞争力 | 在市场上相对于竞争对手的竞争优势 |
| 经济增长潜力 | 未来扩展业务、增加收入和提升市场份额的能力 |
| 盈利能力 | 通过其运营活动产生利润的能力 |
| 社会责任 | 对就业的贡献 | 在运营过程中创造工作岗位和促进就业机会的能力 |
| 社区参与和支持 | 当地社区活动中的参与程度和对社区发展的支持力度 |
| 工作场所安全 | 确保员工工作环境的安全性、预防职业伤害和健康风险方面的措施和表现 |
| 员工福利 | 员工的各种额外福利 |
| 企业社会信誉 | 在社会公众、客户和行业内的声誉和信任度 |

## 2.3构建评价模型

根据2.2构建的绿色混凝土搅拌站综合评价指标，共有三个一级指标，15个二级指标，基于灰色系统理论的绿色混凝土搅拌站综合评价模型如下：

第一步：确定二级指标的评分等级，将评分等级分为五层，分别为很好，较好，一般，合格，不合格，分别对应10分、8分、6分、4分、2分。如若指标介于两个等级之间，则取中间数，即9分、7分、5分、3分。

第二步：利用灰色关联分析法计算权重：

首先需要对原始数据进行标准化处理，标准化的公式为：

|  |  |
| --- | --- |
| $$x\_{ij}^{\*}=\frac{x\_{ij}-min(x\_{ij)}}{max(x\_{ij})-min(x\_{ij)}}$$ | （1） |

式（1）中，$x\_{ij}$是原始数据，$x\_{ij}^{\*}$是标准化后的数据，$max（x\_{ij}）$和$min（x\_{ij}）$分别是指标*j*的最大值和最小值。

其次，计算各指标与评价对象的关联度。关联度越高，说明该指标与评价对象的匹配程度越高，其重要性越大。计算公式为：

|  |  |
| --- | --- |
| $$ξ（x\_{0j}^{\*},x\_{ij}^{\*}）=\frac{min min\left|x\_{0j}^{\*}-x\_{ij}^{\*}\right|+ρmax max\left|x\_{0j}^{\*}-x\_{ij}^{\*}\right|}{\left|x\_{0j}^{\*}-x\_{ij}^{\*}\right|+ρmax max\left|x\_{0j}^{\*}-x\_{ij}^{\*}\right|}$$ | （2） |

式（2）中，$x\_{0j}^{\*}$是理想状态下的标准化值，$ρ$是分辨系数（通常取0.5）。

最后，根据计算出的关联度确定各指标的权重。计算公式为：

|  |  |
| --- | --- |
| $$W\_{j}=\frac{ξ（x\_{0j}^{\*},x\_{ij}^{\*}）}{\sum\_{j=1}^{n}ξ（x\_{0j}^{\*},x\_{ij}^{\*}）}$$ | （3） |

式（3）中，$W\_{j}$是指标*j*权重，*n*是指标的总数。

第三步：组织专家评分并构建评分矩阵M；

第四步：确定评价灰类；根据第一步有五个评价灰类，白化权函数示意图如图1所示。



图1 白化权函数示意图

第五步：确定评价系数。根据白化权函数对二级指标计算灰色评价系数：

|  |  |
| --- | --- |
| $$x\_{ije}=\sum\_{t=1}^{10}f\_{e}(m\_{ijt})$$ | （4） |

灰色系数为：

|  |  |
| --- | --- |
| $$x\_{ij}=\sum\_{e=1}^{5}x\_{ije}$$ | （5） |

第六步：计算灰色评价权向量及权矩阵。指标$V\_{ij}$属于第e个灰类灰色评估权为：

|  |  |
| --- | --- |
| $$q\_{ije}=\frac{x\_{ije}}{x\_{ij}}$$ | （5） |

根据$q\_{ije}$建立灰色权矩阵$R\_{i}$。

第七步：建立一级指标权向量矩阵，结果为$B\_{i}$。构建整体评价矩阵B。

第八步：综合评价Q。

|  |  |
| --- | --- |
| $$Q=B×C^{T}$$ | （6） |

其中，$C^{T}$为各评价灰类等级化向量的转置。

# 3案例分析

## 3.1案例概况

为了实际应用并验证基于灰色系统理论的绿色混凝土搅拌站综合评价模型，文章选择了位于中国江苏省的一家大型绿色混凝土搅拌站作为案例进行分析，记为A绿色混凝土搅拌站，该搅拌站采用了先进的混凝土搅拌技术，在运营过程中注重环境保护和资源节约。A绿色混凝土搅拌站年生产能力超过100万立方米，拥有多条自动化生产线，能够满足大规模建筑项目的需求。搅拌站采用了先进的自动控制系统，能够精确控制材料配比，保证混凝土质量。还引入了节能和减排技术，如高效除尘系统和废水循环利用设施，以减轻对周边环境的影响。通过对该搅拌站的综合评价，旨在验证之前构建的综合评价模型在实际应用中的有效性。分析将侧重于评估搅拌站在环境保护、经济效益和社会责任方面的表现，探讨其在可持续发展方面的绩效。为了进行全面地评价，收集了该搅拌站过去三年的相关数据，包括能源消耗记录、废物处理数据、财务报表和社会责任报告等。这些数据将用于计算模型中各指标的实际表现，并结合模型中确定的指标权重进行综合评价分析。

## 3.2数据分析

在专家进行指标评分后，得到无量纲化的一级指标矩阵C。如表3所示。

表3 一级指标矩阵C

|  |  |
| --- | --- |
| 一级指标 | 专家序号 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 环境保护 | 0.9 | 1 | 0.9 | 0.9 | 1 | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 1 | 0.9 |
| 经济效益 | 1 | 0.9 | 1 | 0.8 | 0.9 | 1 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 1 |
| 社会责任 | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 1 | 1 | 0.9 | 0.8 | 1 | 0.9 | 0.9 |

使用SPSS软件，使用构建的模型计算一级指标关联度及权重。如表4所示：

表4 一级指标关联度及权重

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 一级指标 | 环境保护 | 经济效益 | 社会责任 |
| 关联度 | 0.7261 | 0.6731 | 0.6802 |
| 权重 | 0.3912 | 0.3017 | 0.3071 |

同理，在专家进行指标评分后，得到无量纲化的二级指标矩阵，得到差异矩阵$∆$，如表5所示。

表5 二级指标差异矩阵

|  |  |
| --- | --- |
| 二级指标 | 专家序号 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 能源消耗量 | 0.1 | 0.2 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0 | 0 | 0.2 | 0.1 |
| 废物排放量 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0 | 0 | 0.1 |
| 排放物的处理 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| 循环利用率 | 0 | 0.1 | 0 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.2 |
| 排放物的污染程度 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0 | 0 | 0.1 |
| 成本效益 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 投资回报率 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| 市场竞争力 | 0.2 | 0 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| 经济增长潜力 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0 | 0.1 |
| 盈利能力 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 |
| 对就业的贡献 | 0.1 | 0.2 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 社区参与和支持 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.3 | 0.2 |
| 工作场所安全 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0 | 0.2 | 0 | 0.1 | 0.1 |
| 员工福利 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.2 |
| 企业社会信誉 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |

同理，使用SPSS软件，使用构建的模型计算二级指标关联度及权重。如表6所示：

表6 二级指标关联度及权重

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 二级指标 | 能源消耗量 | 废物排放量 | 排放物的处理 | 循环利用率 | 排放物的污染程度 |
| 关联度 | 0.6189 | 0.7011 | 0.6271 | 0.6505 | 0.6817 |
| 权重 | 0.2310 | 0.2001 | 0.1892 | 0.1726 | 0.2071 |
| 二级指标 | 成本效益 | 投资回报率 | 市场竞争力 | 经济增长潜力 | 盈利能力 |
| 关联度 | 0.6721 | 0.7018 | 0.6781 | 0.6055 | 0.6243 |
| 权重 | 0.2451 | 0.1983 | 0.1734 | 0.1821 | 0.2011 |
| 二级指标 | 对就业的贡献 | 社区参与和支持 | 工作场所安全 | 员工福利 | 企业社会信誉 |
| 关联度 | 0.5983 | 0.6091 | 0.7011 | 0.7021 | 0.6822 |
| 权重 | 0.1582 | 0.1679 | 0.2573 | 0.2719 | 0.1447 |

使用SPSS软件，分别计算当e=1,...,5时各指标的灰色评价系数，得到一级指标、二级指标灰色评价矩阵，最终得到一级指标权向量矩阵，构建整体综合评价矩阵B为：

$$B=\left\{0.1386，0.2436，0.3581，0.2101，0.0496\right\}$$

综合评价结果Q为：

$Q=\left\{0.1386，0.2436，0.3581，0.2101，0.0496\right\}\left[\begin{array}{c}10\\8\\6\\4\\2\end{array}\right]$=6.423

所得结果为6.423，证明该综合评价结果介于一般和较好之间。综合分析各个指标的数据，发现A绿色混凝土搅拌站在环境环保、经济效益、社会责任层面均有指标待改进。

环境保护层面：搅拌站可以引入高效率电动机和节能照明系统，探索可再生能源的使用，如太阳能和风能，减少对传统能源的依赖。为提高循环利用率，建议加强废弃混凝土的回收和再利用。可以通过建立废料分类处理系统，将废弃混凝土破碎后用作新混凝土的骨料或道路建设材料。

经济效益层面需要进一步增强经济增长潜力，A绿色混凝土搅拌站需要拓展市场、提高产品质量和服务水平。开发新的混凝土产品，以满足市场多样化需求。

社会责任层面：在社会参与和支持方面，A绿色混凝土搅拌站可以通过举办公开日、参与公益活动和与当地教育机构合作等方式，增强与社区的联系和影响力。在保证工作环境安全的基础上，还需定期对员工进行安全培训，确保员工了解和掌握安全操作规程。总之，A搅拌站应该从“节能、高效、环保、美观”八字方针入手，实现搅拌站真正的环保化，打造新型的环保节能型绿色混凝土搅拌站。

# 4结论

1）在当前建筑行业持续追求可持续发展和环境保护的大背景下，构建一个绿色混凝土搅拌站的综合评价模型显得尤为重要。综合评价模型需要很好地指导搅拌站在绿色建筑材料生产方面的优化，进而推动整个建筑行业的绿色转型。

2）基于灰色系统理论，针对绿色混凝土搅拌站的多维特性，建立了一个全面的指标体系。这个体系覆盖了环境效益、经济性能和社会责任等关键维度，确保了评价的全面性和科学性。基于灰色系统理论构建了一个综合评价模型，以量化地评估搅拌站的整体表现。

3）通过对江苏省的A绿色混凝土搅拌站进行案例分析，验证了所构建评价模型的有效性。结果表明，A搅拌站在多个维度上的综合评价介于一般和较好之间，验证了评价模型在实际应用中的准确性和实用性，并针对A搅拌站表现较差的指标提出了改进建议。

# 参考文献

[1]宋青华.基于灰色理论的公共管网工程项目建设评价研究[D].昆明理工大学,2022.

Song Q H. Research on the Construction Evaluation of Public Pipeline Network Projects Based on Grey Theory [D]. Kunming University of Science and Technology, 2022.

[2]李礼.建筑材料绿色性的 6E 综合评价体系研究.大连理工大学博士学位论文，2012.

Li L. Research on the 6E Comprehensive Evaluation System of Greenness in Building Materials. Doctoral Dissertation, Dalian University of Technology, 2012.

[3]李军.绿色混凝土搅拌站研究及发展方向[J].建设机械技术与管理,2021,34(04):55-57.

Li J. Research and Development Directions of Green Concrete Mixing Stations [J]. Construction Machinery Technology and Management, 2021, 34(04): 55-57.

[4]张虹莉.绿色环保技术在新型混凝土搅拌站中的应用研究[D].浙江工业大学,2017.

Zhang H L Research on the Application of Green Environmental Protection Technology in New Concrete Mixing Stations [D]. Zhejiang University of Technology, 2017.

[5]满丽莹,王裕银,李酉成等.绿色环保混凝土搅拌站的四废处理[J].混凝土与水泥制品,2019,(10):84-86.

Man L Y, Wang Yuyin, Li Youcheng, et al. Treatment of Four Wastes in Green Environmental Concrete Mixing Stations [J]. Concrete and Cement Products, 2019, (10): 84-86.

[6]宁雪莲,李祖辉,张烨.绿色混凝土搅拌站的研究及展望[J].中国住宅设施,2023,(07):67-69.

Ning X L, Li Z H, Zhang Y. Research and Prospect of Green Concrete Mixing Stations [J].China Housing Facilities, 2023, (07): 67-69.

[7]冯岳.S预拌混凝土搅拌站绩效考核指标体系优化研究[D].苏州大学,2021.

Feng Y. Research on the Optimization of Performance Assessment Indicator System for S Premixed Concrete Mixing Stations [D]. Soochow University, 2021.