

# “秋霖落叶”如何变废为宝?焦作市区每年万吨落叶如何安身?

设计者：司懿，王梓伊，王莹莹，夏冰涛，聂润迪，陈哲

指导教师：杨小林

（应急管理学院，能源科学与工程学院）

## 摘要

随着环境污染问题日趋严重，我国能源结构急需优化调整，寻找合适的清洁能源缓解能源压力势在必行。落叶作为林业生物质，可以通过多种处理途径代替化石能源，推进资源全面节约和循环利用。近年来，焦作市区绿化逐渐完善，每年都会产生大量落叶，但由于缺少合理的回收利用，导致落叶资源一直处于浪费或闲置状态，造成大量资源浪费。本研究基于GM(1,1)预测模型和时间序列预测模型估计焦作市区未来五年的落叶量，同时通过走访调查、问卷调查及文献参考等方法对焦作市区落叶回收利用现状及处理状况进行调查。最后，结合社会调查和专家评估，对城市落叶资源利用的几种方案进行评估分析，建立模糊综合评判模型，得出多种处理途径的最优排列顺序，同时基于定量分析和SWOT分析提出针对性对策建议，并构建城市落叶循环利用新体系。

**关键词：**落叶资源；制沼气；GM(1,1)预测模型；焦作市区；对策与建议

## Abstract

With the increasingly serious environmental pollution problem, China's energy structure is in urgent need of optimization and adjustment. It is imperative to find suitable clean energy to alleviate energy pressure. As a forestry biomass, deciduous leaves can replace fossil energy through various treatment channels, and promote comprehensive resource conservation and recycling. In recent years, the greening of Jiaozuo urban area has gradually improved, and a large number of leaves have been produced every year. However, due to the lack of reasonable recycling, the defoliated resources have been wasted or idle, resulting in a large amount of waste of resources. Based on GM (1,1) Prediction Model and time series prediction model, this study estimated the amount of fallen leaves in Jiaozuo urban area in the next five years, and investigated the current situation of recycling and utilization of fallen leaves in Jiaozuo urban area and its treatment by means of interview survey, questionnaire survey and literature reference. Finally, combined with social investigation and expert evaluation, several schemes of utilization of urban deciduous resources are evaluated and analyzed, a Fuzzy Comprehensive Evaluation model is established, and the optimal order of various treatment approaches is obtained. At the same time, based on quantitative analysis and SWOT analysis, targeted countermeasures and suggestions are put forward, and a new system of urban deciduous recycling is constructed.

**Key words:** Defoliation Resources; Biogas production; GM(1,1) Prediction Model; Biogas production; Jiaozuo urban area; Countermeasures and Suggestions

## 目录

1.绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.2 研究思路与方法.....	1
1.2.1 研究思路.....	1
1.2.2 研究方法.....	3
1.4 创新点.....	3
2.国内外落叶回收与利用现状.....	3
2.1 国内落叶回收与利用现状.....	3
2.1.1 落叶回收利用的社会基础.....	3
2.1.2 落叶回收利用存在的问题.....	4
2.2 国外落叶回收与利用现状分析.....	4
2.2.1 美国.....	4
2.2.2 日本.....	5
2.2.3 意大利.....	5
2.2.4 英国.....	5
2.2.5 其他发达国家.....	5
3.焦作市落叶回收与利用结果及分析.....	6
3.1 焦作市区落叶量的统计与预测.....	6
3.1.1 焦作市区落叶量的统计.....	6
3.1.2 焦作市区落叶资源总量预测.....	7
3.2 调研结果及分析.....	12
3.2.1 调查问卷分析.....	12
3.2.2 市民访谈分析.....	13
3.2.3 社会意见与建议.....	14
3.3 落叶处理方式评价.....	15
4.可行性分析及前景预测.....	17
4.1 可行性分析.....	17
4.2 前景预测.....	19

5. 对策建议.....20

5.1 政策经济双管齐下，鼓励城市落叶回收.....20

5.2 充分利用宣传媒介，提高全民环保意识.....21

5.3 注重落叶生态效益，促进生态经济发展.....21

5.4 树立良好经营理念，科学利用城市落叶.....21

5.5 构建城市落叶循环再利用体系.....22

6.结论与启示.....23

结语.....24

谢辞.....24

参考文献.....24

附录.....26

附录一：调查问卷.....26

附录二：走访调查记录.....28

附录三：模糊综合评价模型.....29

附录四：程序.....32

附录五：焦作市区近年来绿化数据统计表.....35

附录六：调研访谈照片.....36

# 1.绪论

## 1.1 研究背景与意义

能源是人类赖以生存的重要物质基础，进入 21 世纪以来，人民生活水平日益提高，对能源的依赖性也越来越强，这直接影响到人类社会的可持续发展的进程。中国自进入改革开放以来，对能源需求很大，寻找合适的替代能源，减少能源短缺问题对我国的困扰十分重要。合适的替代能源具有可持续性、安全、清洁的特点。生物质能源以生物质为载体的能源，可以通过多种形式的加工替代传统化石能源。绿色发展是构建高质量现代化经济体系的必然要求。习近平主席在全国生态环境保护大会上提出，培育壮大节能环保产业，推进资源全面节约和循环利用。

城市落叶属于林业生物质，且落叶资源大量闲置。每年城市落叶量巨大，如果可以将这些落叶进行集中处理，回收利用起来，势必提供巨大的可供人类利用的能源，从而推动城市资源循环利用。目前我国所面临的重大问题是经济发展与环境承载力之间的矛盾，将城市落叶资源与城市经济发展相结合，贯彻落叶经济概念既符合现代化国家生态建设的要求，也能增强资源利用效率。目前，各国已经逐渐重视起来落叶回收问题，出台各种政策或对填埋进行税收来增强其他回收方式的竞争力，以此来减少枯枝落叶对填埋场的依赖，并已取得一定的成效。

随着生态城市的建设，焦作市区的绿化面积不断扩大，城市落叶的数量也与日俱增，但城市落叶资源整合度不高，已经成为焦作城市发展中不容忽视的资源闲置问题。每到秋冬季节，是落叶和枯枝数量激增的时候。环卫工人、园林工人往往会将散落的落叶从绿篱下、草地上和路面上等处收集起来，然后堆积令其自然降解，或者运往垃圾场填埋。

如果选择填埋的方式清除落叶，不仅给城市环卫部门造成巨大工作量，也带走了本应回归土壤的落叶肥料补给，长此以往，土壤的肥力逐年降低，绿化成本也会逐年升高；如果选择让落叶在自然环境下降解，则需要很长的时间，降低了资源的循环利用效率。

城市落叶资源的回收利用是一种新型的绿色环保产业，落叶资源绿色、环保，且可再生，不同于煤炭、天然气等不可再生资源，城市落叶的回收利用所面对的绿色产业市场富有活力，前景也十分广阔。落叶处理后产生的清洁能源能够缓解城市资源紧张的局面，同时壮大循环经济产业，降低焦作市区对其他具有污染性或不可再生资源的依赖性，有利于市民生活环境的改善、城市循环经济效益的增长，促进焦作市区持久性发展。

尽管不同国家出台了许多关于城市落叶回收的相关政策，学术界对城市落叶回收再利用也从不同角度做出了研究，但是关于城市落叶的循环再利用没有形成一套完整且具有可行性的落叶回收体系。因此，城市落叶循环再利用的研究正当其时，落叶回收体系的构建刚刚进入人们的研究视野。

## 1.2 研究思路与方法

### 1.2.1 研究思路

城市落叶属于林业生物质，作为一种新能源可以充分挖掘利用。根据习近平主席在全国生态环境保护大会上所提出的，培育壮大节能环保产业，推进资源全面节约和循环利用。本文通过对落叶的回收利用进行分类研究，运用文献阅读法、定量分析法、实地访谈法和经验总结法等研究方法，坚持以问题为导向，从事实出发。通过资料查阅，实地调研以及系统全面的分析，统计焦作市区年落叶量、落叶处理现状和落叶资源利用效果。运用 GM (1, 1)

预测模型和时间序列预测模型预测出未来五年内焦作市区落叶总量变化趋势，同时对国内外落叶回收与利用现状进行分析，建立数学模型进行推理验算，得出落叶处理途径的最优排序，并且在当前背景及条件下，提出行之有效的对策建议。充分利用落叶这种可再生清洁能源，能有效减少我国对其他不可再生能源的依赖性，同时刺激绿色产业经济发展。最后，对落叶回收与利用结果进行可行性分析和前景预测，构建城市落叶回收再利用体系。主要研究内容如下：

（1）焦作市区落叶处理与利用的现状分析：本研究选择河南理工大学后勤管理部、焦作市区园林局、环卫工人和市民进行调查与访谈，获取焦作市区绿化面积、落叶处理方式和处理效果的相关数据。

（2）焦作市区落叶现有处理方法评价的分析：本研究通过对相关单位及人员的走访调查，并基于模糊综合评判模型对现有落叶处理方法评价，结合定量计算评估焦作市区落叶处理与利用现状，找到最优处理落叶的途径。

（3）焦作市区落叶处理及利用的可行性及前景分析：本研究从事实出发，分别从技术、经济和环保的角度分析出落叶回收再利用的可行性，并根据相关政策及需要，利用 SWOT 分析得出落叶回收再利用的前景与挑战。

（4）焦作市区落叶回收路径探析：提出合理化建议，并构建城市落叶循环再利用新体系。课题研究思路流程图详情如图 1 所示：

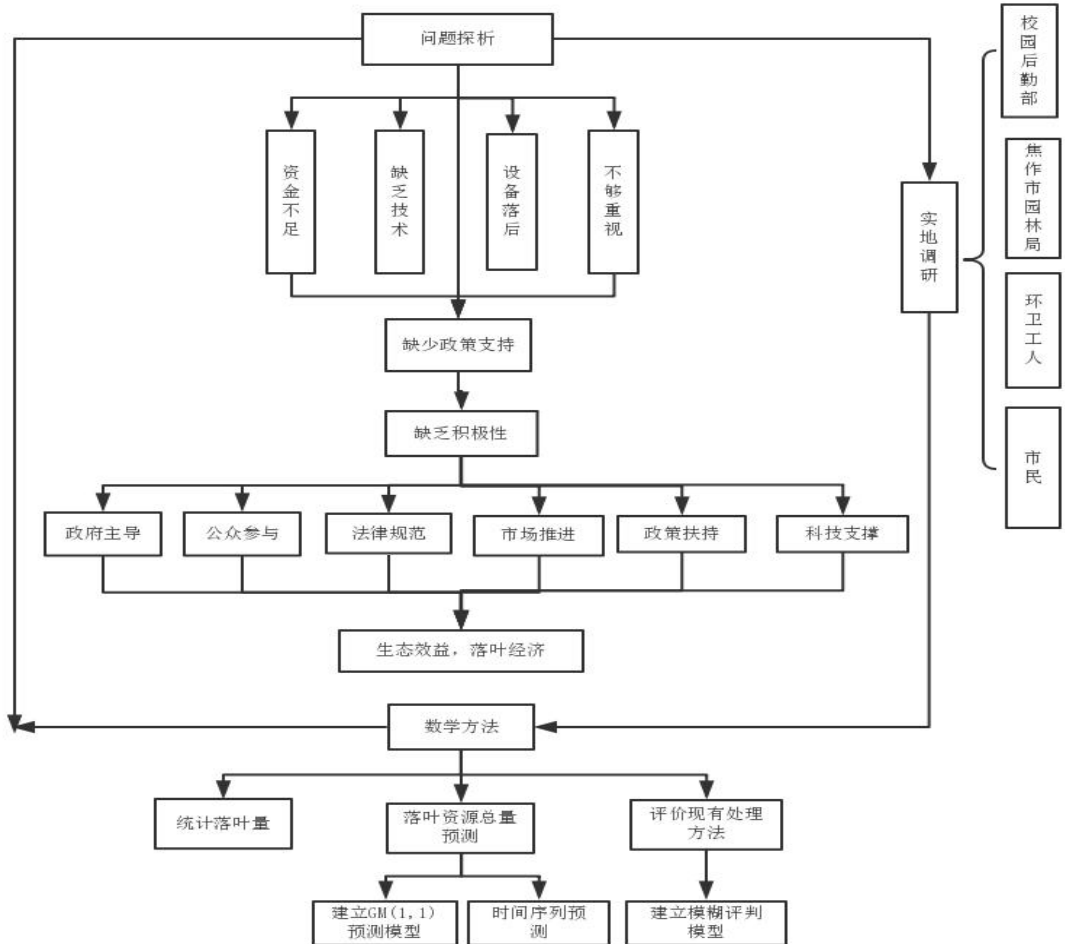


图 1 课题研究思路

## 1.2.2 研究方法

本文通过文献阅读法、定量分析法、实地访谈法和经验总结法的研究方法，较全面地分析了落叶回收再利用的发展现状与发展前景。

### 1. 文献阅读法：

研究过程中通过对中外期刊、文献的阅读与分析，搜集与城市落叶利用相关的内容，掌握中国和其他国家对城市落叶的研究现状，同时对焦作市区的落叶处理现状做初步了解，从而更有利于后期实地调查的开展。

### 2. 定量分析法：

在科学研究中通过定量分析法从科学的角度解释规律，把握本质，理清关系，预测落叶回收的发展趋势，定量计算落叶回收所得效益，使结论更具说服力。

### 3. 实地访谈法：

联系河南理工大学校园后勤部、焦作市区园林局、环卫工人和市民，帮助实施实地访问。通过对园林局领导、老干部以及老人的访谈，补充调查问卷的局限性，方便深入了解学习。贯彻将理论与实践相结合的思想，能够更有效地达到此次调研的目的。

### 4. 经验总结法：

与园林局的专家和技术人员进行访谈过程中，专家结合了焦作市区的现状以及经济能力，对众多落叶的处理方法进行评估，并对因素集所占权重进行了分配，将主观因素所带来的影响降到最小。专家和技术人员根据经验总结出对落叶处理方法评价中经济投入、环保程度、资源利用率、减量化程度以及操作管理所占的百分比。

## 1.4 创新点

(1) 当前我国资源紧缺、部分资源难以利用且污染环境的现实状况突出，常见资源的回收再利用的趋势日渐上升，现有相关研究主要关注大型自然资源，如太阳能、水、风等，但是这些资源受地理环境的影响较大。反观落叶随处可见，但是关于落叶的回收再利用的相关研究较少，本研究着眼于现实，创造性地提出关于城市落叶的回收利用方案，将城市落叶变废为宝。

(2) 在研究过程中，基于对焦作市区绿化面积及绿化覆盖率和现有落叶处理方式的调查数据，科学地计算出焦作市年落叶量，并使用 GM(1,1) 预测模型和时间序列预测模型对焦作市未来五年的落叶量进行预测。根据预测结果以及焦作市区目前的发展状况进行可行性分析和前景预测，利用模糊综合评判模型得出落叶处理途径的最优排列途径，结合定量计算得出适合焦作市区的最优处理途径，对处理中可能存在的现实问题作出分析，提出解决方案。

## 2. 国内外落叶回收与利用现状

### 2.1 国内落叶回收与利用现状

#### 2.1.1 落叶回收利用的社会基础

政策基础：国家发改委、财政部等 14 个部门于 2017 年 6 月联合发布的《循环发展引领行动》明确了未来我国资源产业的发展目标，即到 2020 年，我国绿色循环低碳产业体系初步形成，新的资源战略保障体系基本构建，绿色生活方式基本形成。该档案针对城市落叶的处理指出“鼓励通过堆肥、发展生物质燃料、有机营养基质和深加工等方式处理城市落叶，减

少垃圾填埋库容，实现循环利用”。充分利用闲置的落叶资源有利于实现建设资源节约型、环境友好型社会的战略目标。

**经济基础：**近年来，国内各地区经济不断从低收入向高收入迈进，国家经济整体繁荣复苏，为国家体制转型和结构转型提供了有力的经济基础。寻求对城市落叶回收利用更为合理的途径是种产能的转变，由对资源单一浅层次的利用向多资源整合利用的方向转变。国内良好的经济环境有利于实现对落叶资源由低产能向高产能的转变。

**技术基础：**随着国内制造业市场进一步发展壮大，相关企业自主设计和制造自动化设备的能力也随之得到极大提升，为满足不同场景作业的需要，可以实现在落叶的收集、压缩、粉碎等深化加工上基本可以达到机械化的程度，可以在城市环保和美化方面发挥重要作用。

## 2.1.2 落叶回收利用存在的问题

国内拥有大量的落叶资源，这些资源现今未得到广泛回收与再利用的原因与障碍可以归结为以下四个方面。

**政策不明：**落叶资源的回收与利用是一个新的概念，缺乏政策层面的引导。虽然城市里每年产生大量落叶资源，但城市落叶在国内尚未被细分为可回收垃圾，日常所见的垃圾箱多为日常生活用品分类，大量具有再生利用价值的城市落叶资源被以单线式处理。

**环保意识：**现阶段国民在落叶资源全面利用上意识普遍不高，另一方面参与到落叶的回收与再利用当中去更多的是一种绿色的生活方式，短期内看不到明显的效益，但却需要公众长期参与并坚持来做，这也使得公众参与热情不高。

**操作管理：**其一为无统一的落叶集中处理点，以临时堆放为主，从这一个角度来看，未能得到及时处理的堆积落叶存在一定安全隐患，大量堆积的干枯落叶属易燃物，稍有不慎会酿成火灾事故，堆积的落叶如不及时清理，还容易堵塞下水道；其二为城市落叶回收利用权责不明，城市落叶回收再利用涉及的管理部门有林业、土地、城管、环卫、环保和城市规划等，往往出现管理盲区或多头管理等状况。

**创新优化：**目前我国大部分城市对落叶的处理就像普通垃圾一样填埋，这样既未能将落叶当成一种资源来对待，也没有固定的处理模式。这需要摒弃传统的资源利用无差异化思维，依据不同城市落叶的处理能力来寻求一种更为合理的落叶处理方式，从追求经济产出的角度来看，需要对落叶的收集、运输、加工处理、再到制成产品整体进行流程优化，以减少资金的投入，降低操作管理的难度。

对于焦作市区，城市落叶的回收情况也是不容乐观。焦作市区以填埋方式处理落叶，不能使落叶资源得以充分利用，主要问题在于缺乏技术设备支撑、操作管理存在盲区、缺乏落叶循环再利用的创新优化模式等。

## 2.2 国外落叶回收与利用现状分析

### 2.2.1 美国

美国环境保护署曾颁布了 EPA530-R-94-003 法则 2，对城市落叶收集、分类、发酵和后加工的工艺程序，相关的法令和标准都有严格规定。“落叶化土”循环模式已在一些地区规模化，美国许多州还规定当废弃物堆肥材料符合土壤改良材料的质量要求时，政府部门就必须购买或使用这些废弃物的堆肥材料，为“落叶化土”找到出路。为了提高城市落叶的堆肥处理率，许多州还专门设立经费或制定各种政策和计划引导城市落叶的堆肥利用<sup>[1]</sup>。同时为了提高堆肥质量，美国提倡根据季节和地区的实际情况，堆肥还可以根据不同来源的材料性质进行合理配比，如叶子可以和草这种含氮量高、利于发酵的原料混合发酵以获得高质量的产



品。

与其他处理方式相比，落叶的堆肥化处理成本也相对较低。如华盛顿西雅图拉里市实践证明，堆肥化处理每吨城市落叶能够节省 40-55 美元，一年约节省 41000 美元；纽约的矫正服务部每年则能够节省 564200 美元；圣地亚哥环境服务部门垃圾填埋的费用为 42 美元/t，而城市落叶堆肥处理的费用为 22 美元/t；伯克利市填埋处理的费用为 40 美元/t，而堆肥处理的费用为 26 美元/t；帕罗奥多市堆肥生产的费用为 18 美元/t，远远低于填埋所需费用。

### 2.2.2 日本

日本为推进《再生资源利用促进法》的实施确定了 39.5 亿日元的预算方案，对废弃物减量化和再资源化进行调查、指导和事业补助；农林水产省、建设省也都拿出 84.8 亿日元和 6427 万日元预算支持有关资源综合利用技术开发项目。日本近年来对堆肥化处理投入相当大的人力与财力进行研究开发，另外日本还成立了由企业界出资支持的日本有机物利用协会，将在国际民间推动有机物再利用的相关协会合作，推动有机废弃物再利用及建立一致性的有机废弃物处理产生堆肥的质量标准等，并且推动了其产业化发展。

在日本，在对城市落叶进行堆肥处理的过程中，根据实际情况掺有树枝树皮，而形成了多种堆肥方式，使用树皮堆肥发酵制作肥料或用可移动的粉碎设备将树木的剪枝等就地粉碎后堆肥，鼓励家庭制作活性堆肥；各类发酵剂和小型堆肥配套机械种类齐全，不少社区落叶集散地都建有配套的堆肥场<sup>[2]</sup>。

### 2.2.3 意大利

布鲁塞尔等较大的城市绿化服务机构较早就开始用混合堆肥的方式处理城市落叶，城市建造诸多大型露天堆肥场和安置场，处理了包括城市落叶的有机废弃物 216000t。由非赢利组织 VLACO 进行组织和控制质量、进行促销。意大利经过多年的努力形成了一套绿色垃圾处理的体系，将被错误放置的“垃圾”变成了“宝贝”，既解决了落叶垃圾，又带来了巨大的经济产出<sup>[3]</sup>。

### 2.2.4 英国

英国政府采用对进入填埋场的有机废弃物收取一定税收的方式，使填埋逐渐成为一种昂贵的处理方法，从而增强其他处理方式(如堆肥再利用等处理方式)在财政上的竞争力，以此来减少废弃物对填埋场的依赖，这些有机废弃物主要包括城市落叶。在英国肯辛顿镇和切尔西皇室自治区，政府鼓励居民对落叶进行收集，在一定的时期会将一定数目的收集袋免费发放给居民，居民也可额外购买。可生物降解的重复利用的收集袋的费用为 2 美元/个，而一次性生物可降解收集袋的费用为 0.3 美元/个。有的地区采取收年费的形式，在规定的时间内来收取居民的收集落叶。英国布雷克诺克郡政府提供给居民 240L 的收集箱，并由专门人员每 2 周收一次，而居民则需缴纳 32 英镑的年费。

### 2.2.5 其他发达国家

丹麦制定了废弃物规划，规定了城市落叶必须作为能源回收利用，禁止填埋焚烧，并制定了一系列行之有效的法律政策，采取了一系列明确的鼓励政策，2002 年丹麦能源消费 81% 生物质能<sup>[4]</sup>。

新西兰规定 2010 年前将禁止落叶作为一种垃圾以填埋方式处理，而且也不采用焚化处理，积极推动堆肥化和再利用政策。

由上述对发达国家落叶回收与再利用的调查得到下表：

表 1 较发达国家落叶处理与再利用的现状分析

国家	落叶主要处理模式	经济投入	政策支持	国民参与程度
美国	堆肥及发酵制沼气	投入专项资金	政策倾斜于落叶处理的组织部门	民间处理落叶的组织与日增多
日本	堆肥	投入专项资金	成立有机物再利用协会，促进产业化	当成一种资源国民积极参与
意大利	堆肥及发电	非营利组织进行管理	政策倾斜促进产业化	非营利部门介入，民众积极回应
英国	堆肥	投入专项资金	对落叶送入填埋场进行征税，鼓励落叶再利用	政府鼓励，公众参与度高
丹麦	堆肥	投入专项资金	规定落叶必须作为资源来利用，禁止焚烧填埋	政府鼓励，公众参与度高
新西兰	堆肥	投入专项资金	禁止落叶填埋，鼓励其他高效处理方式	政府鼓励，公众参与度高

### 3.焦作市落叶回收与利用结果及分析

#### 3.1 焦作市区落叶量的统计与预测

##### 3.1.1 焦作市区落叶量的统计

落叶量是决定城市落叶回收的关键因素，落叶回收利用的良好前提是其资源量要保持充足。如果其资源量过小，城市落叶将没有回收再利用的必要性。经过充分的社会调研，我们发现目前没有专业人士对焦作市区每年的落叶量进行统计估算。因此，采取估测的方法对焦作市区的年落叶总量进行大致估计，已验证利用城市落叶资源的可行性。

查阅资料得知<sup>[5]</sup>，可以通过一个城市的绿化面积去对落叶总量进行大体估计，以武汉市为例，其市区总面积为 8494km<sup>2</sup>，绿化覆盖率为 39.2%，绿化面积约为其市区总面积×绿化覆盖率为 3329.648 km<sup>2</sup>，而每平方千米的落叶总量大约为 3964kg/ km<sup>2</sup>。通过走访焦作市区园林局，我们得到了从 2011 年到 2017 年焦作市区的绿化指标一览表（见附录五），由表可知焦作市区绿地总面积为 4593 km<sup>2</sup>，这样一来就可以估测出焦作市区的年落叶总量约为 18206.652 吨，据统计每吨一般生活垃圾产生的热量为 800 大卡，而每千克落叶所产生的热量为 2000 大卡，而每吨标准煤可以产生的热量为 6000 大卡，将焦作市区的落叶总量按照这个标准来换算，其每年的 18206.652 吨的落叶大约可以折换成 6068.884 吨的标准煤，即 6068 吨标准煤。由此观之，对落叶的回收利用确实可以带来较为客观的经济效益。

### 3.1.2 焦作市区落叶资源总量预测

对焦作市区园林局提供的 2011 年到 2017 年焦作市区的绿化指标一览表（附录五）进行观察之后发现自 2011 年起到 2017 年焦作市区每年的绿地总面积一直在持续上升。通过了解其原因主要是南水北调拆迁，造成建成区面积减少，使得绿地率和绿化覆盖率明显增加。假设这个趋势很有可能也会延续到未来几年。因此，根据现有的每年绿地面积数据对未来进行时间序列的预测和灰色模型 GM(1, 1) 的预测，从而预测出未来五年内焦作市区城市落叶资源总量。如果绿地面积在未来几年仍然增加，则可以进一步验证进行落叶回收再利用行动的合理性与可行性。

#### 3.1.2.1 GM(1,1)预测模型

GM(1, 1) 表示的模型是一阶微分方程，且只含一个变量的灰色模型。由于附录五的表中的变量只有绿地面积，所以此模型建立预测模型较为合理。

具体方法如下：

已知参考数据列  $x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$ ，1 次累加生成序列（1—AGO）

$$\begin{aligned} x^{(1)} &= (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)) \\ &= (x^{(0)}(1), x^{(0)}(1) + x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(1) + \dots + x^{(0)}(n)) \end{aligned}$$

式中：  $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$ ,  $k=1, 2, 3, \dots, n$ 。  $x^{(1)}$  的均值生成序列

$$z^{(1)} = (z^{(1)}(1), z^{(1)}(2), \dots, z^{(1)}(n))$$

式中：  $z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1)$ ,  $k=2, 3, \dots, n$ 。

建立灰微分方程

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b, \quad k=2, 3, \dots, n$$

相应的白化微分方程为

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)}(t) = b$$

记  $u = [a, b]^T$ ,  $Y = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T$ ,  $B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}$ ，则由最小二乘法，求得使

$J(u) = (Y - Bu)(Y - Bu)^T$  达到最小值得  $u$  的估计值为

$$\hat{u} = [\hat{a}, \hat{b}]^T = (BB^T)^{-1}YB^T$$

于是求解方程

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)}(t) = b$$

得

$$\widehat{x^{(1)}}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{\hat{a}}{\hat{b}}\right)e^{-\hat{a}k} + \frac{\hat{a}}{\hat{b}}, \quad k=0, 1, \dots, n-1, \dots$$

1) 数据的检验与处理

首先，为了保证建模方法的可行性，需要对已知数据列作必要的检验处理。设参考数据为  $x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$ ，计算序列的级比

$$\lambda(k) = \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}, \quad k=2, 3, \dots, n$$

如果所有的级比  $\lambda(k)$  都落在可容覆盖  $\Theta = (e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+2}})$  内，则序列  $x^{(0)}$  可以作为模型 GM(1,1)

的数据进行灰色预测。否则，需要对序列 $x^{(0)}$ 作必要的变换处理，使其落入可容覆盖内。即取适当的常数  $c$ ，进行平移变换

$$y^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) + c, k = 1, 2, \dots, n$$

使序列 $y^{(0)} = (y^{(0)}(1), y^{(0)}(2), \dots, y^{(0)}(n))$ 的级比

$$\lambda_y(k) = \frac{y^{(0)}(k-1)}{y^{(0)}(k)} \in \Theta, k = 2, 3, \dots, n$$

## 2) 建立模型

按式  $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)}(t) = b$ ，建立 GM(1,1)模型，则可得到预测值

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{\hat{a}}{\hat{b}}\right)e^{-\hat{a}k} + \frac{\hat{a}}{\hat{b}}, k = 0, 1, \dots, n-1, \dots,$$

而且 $\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k), k = 1, 2, \dots, n-1, \dots$

## 3) 检验预测值

(1)残差检验。令残差为 $\varepsilon(k)$ ，计算

$$\varepsilon(k) = \frac{x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)}, k = 1, 2, \dots, n$$

这里 $\hat{x}^{(0)}(1) = x^{(0)}(1)$ ，如果 $\varepsilon(k) < 0.2$ ，则可以认为达到一般要求；如果 $\varepsilon(k) < 0.1$ ，则认为达到较高的要求。

(2)级比偏差值检验。首先由参考数据 $x^{(0)}(k-1)$ ， $x^{(0)}(k)$ 计算出级比 $\lambda(k)$ ，再用发展系数 $\alpha$ 求出相应的级比偏差

$$p(k) = 1 - \left(\frac{1 - 0.5\alpha}{1 + 0.5\alpha}\right)\lambda(k),$$

如果 $p(k) < 0.2$ ，则可以认为达到一般要求；如果 $p(k) < 0.1$ ，则认为达到较高的要求。

## 4) 预测播报

由 GM(1,1)模型得到指定时区内的预测值，根据实际问题的需要，给出相应的预测预报。根据上述原理，利用 Matlab 软件进行求解，可得出 2018-2023 五年的预测结果，这五年的绿地覆盖面积分别 4976 km<sup>2</sup>，5142 km<sup>2</sup>，5314 km<sup>2</sup>，5491 km<sup>2</sup>，5675 km<sup>2</sup>，从而预测出焦作市区未来五年的落叶量分别为 19395.852 吨、19879.460 吨、20367.032 吨、20850.640 吨、21338.212 吨这直接地说明了焦作市区的落叶量在未来五年还会有所增长，从而间接地说明了城市落叶的回收再利用行为是有价值、有前景的。如下图 2 所示：

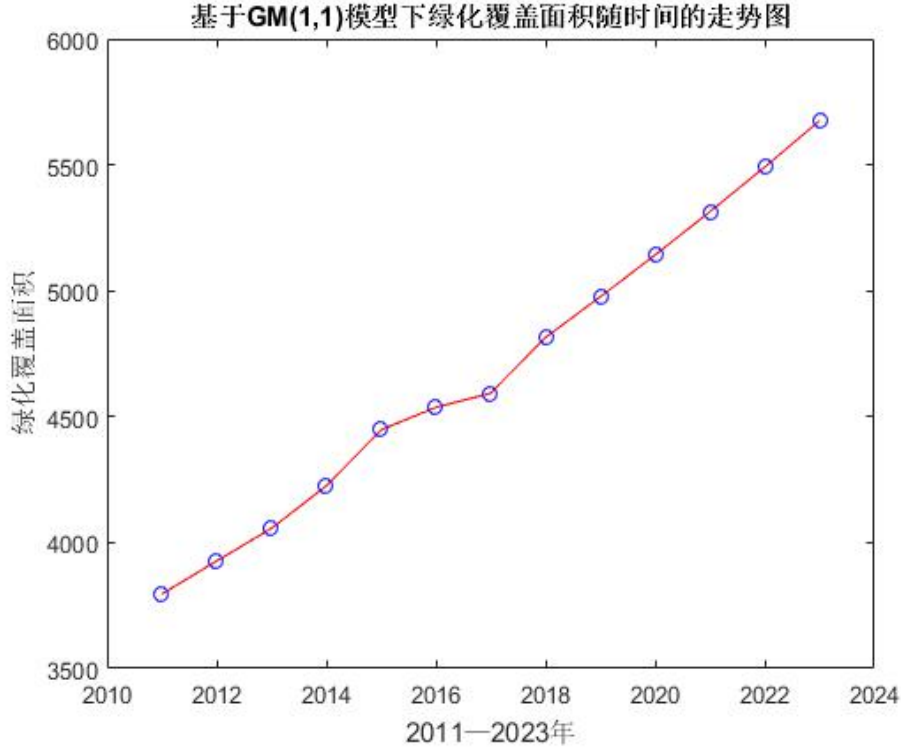


图 2 2011-2023 年焦作市区绿化覆盖面积走势图

从图中未来五年的预测结果来看，焦作市区的落叶覆盖面积增长趋势呈现出线性增长。经调查分析后，得到的原因是由于受南水北调工程的影响，近年来的绿地面积增长较快。从长期来看焦作市绿地覆盖面积应该呈现出阻滞增长的形式，但由于南水北调工程及国家政策影响，焦作市逐渐转型升级，其在短期内呈现线性增长是正常的，可接受的，对于时间序列预测结果而言也是相同的。

### 3.1.2.2 时间序列预测

通过观察发现，绿地面积的变化与时间也有关系，所以从短期来看其规律的变化符合时间序列预测的要求。由于 GM(1,1)的灰色预测并不具有这类特点，所以这里再采用时间序列，将两种方法所得的结果进行比较以求结果更加具有说服力。

在进行时间序列的预测之前对数据的平稳性检验十分重要，所以将这一部分原理单独列出。

Daniel 检验建立在 Spearman 相关系数的基础上，Spearman 系数是一种秩相关系数。设  $x_1, x_2, \dots, x_n$  是从一元总体抽取的容量为  $n$  的样本，其顺序统计量是  $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$ 。若  $x_i = x_{(k)}$ ，则称  $k$  是  $x_i$  在样本中的秩，记作  $R_i$ ，对每一个  $i=1, 2, \dots, n$ ，则称  $R_i$  是第  $i$  个秩统计量。 $R_1, R_2, \dots, R_n$  总称为秩统计量。

对于二维总体  $(X, Y)$  的样本观测数据  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ ，可得各分量  $X, Y$  的一元样本数据  $x_1, x_2, \dots, x_n$  与  $y_1, y_2, \dots, y_n$ 。设  $x_1, x_2, \dots, x_n$  的秩统计量是  $R_1, R_2, \dots, R_n$ ， $y_1, y_2, \dots, y_n$  的秩统计量是  $S_1, S_2, \dots, S_n$ ，当  $X, Y$  联系比较密切时，这两组秩统计量联系也是紧密的。Spearman 相关系数定义为这两组秩统计量的相关系数，即 Spearman 关系数是

$$q_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}}$$

式中:  $\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$ ;  $\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$ 。经过运算, 可以证明

$$q_{XY} = 1 - \frac{6}{n(n^2 - 1)} \sum_{i=1}^n d_i^2,$$

式中:  $d_i = R_i - S_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ 。

对于 Spearman 相关系数, 作假设检验

$$H_0: \rho_{XY} = 0, H_1: \rho_{XY} \neq 0$$

式中:  $\rho_{XY}$  为总体的相关系数, 可以证明, 当  $(X, Y)$  是二元正态总体, 且  $H_0$  成立时, 统计量

$$T = \frac{q_{XY} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1 - q_{XY}^2}}$$

服从自由度为  $n-2$  的  $t$  分布

对于给定的显著水平  $\alpha$ , 通过  $t$  分布表可查到统计量  $T$  的临界值  $t_{\alpha/2}(n-2)$ , 当  $|T| \leq t_{\alpha/2}(n-2)$ , 接受  $H_0$ ; 当  $|T| > t_{\alpha/2}(n-2)$  时, 拒绝  $H_0$ 。

对于时间序列的样本  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ , 记  $\alpha_t$  的秩为  $R_t = R(\alpha_t)$ , 考虑变量对  $(t, R_t)$ ,  $t=1, 2, \dots, n$  的 Spearman 性关系数  $q_s$ , 有:

$$q_s = 1 - \frac{6}{n(n^2 - 1)} \sum_{i=1}^n (t - R_t)^2,$$

构造统计量:

$$T = \frac{q_s \sqrt{n-2}}{\sqrt{1 - q_s^2}}$$

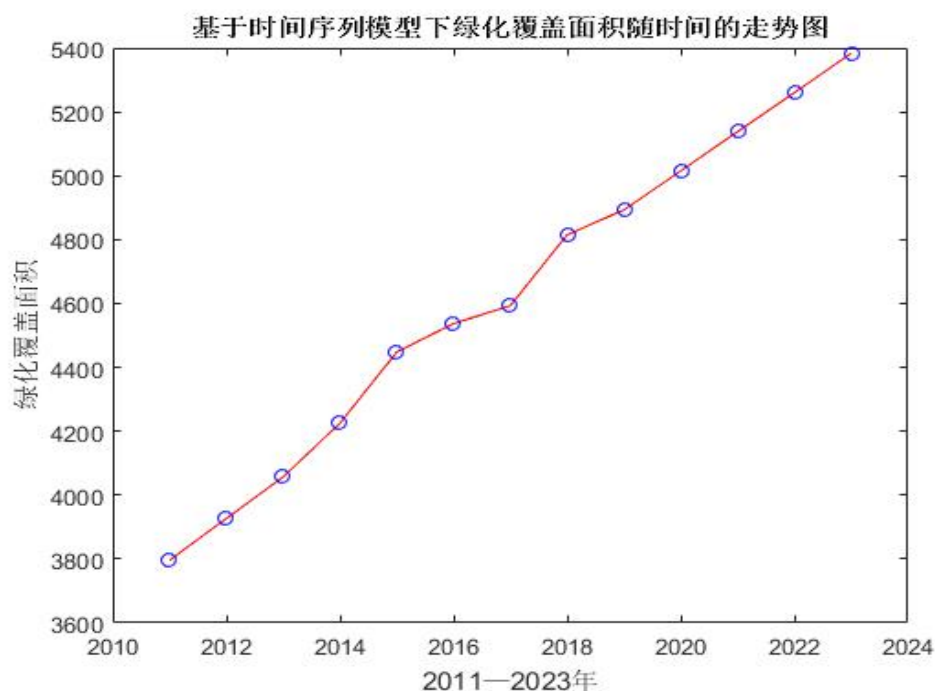
作下列假设检验:

$H_0$ : 序列  $X_t$  平稳;

$H_1$ : 序列  $X_t$  非平稳 (存在上升或下降趋势)。

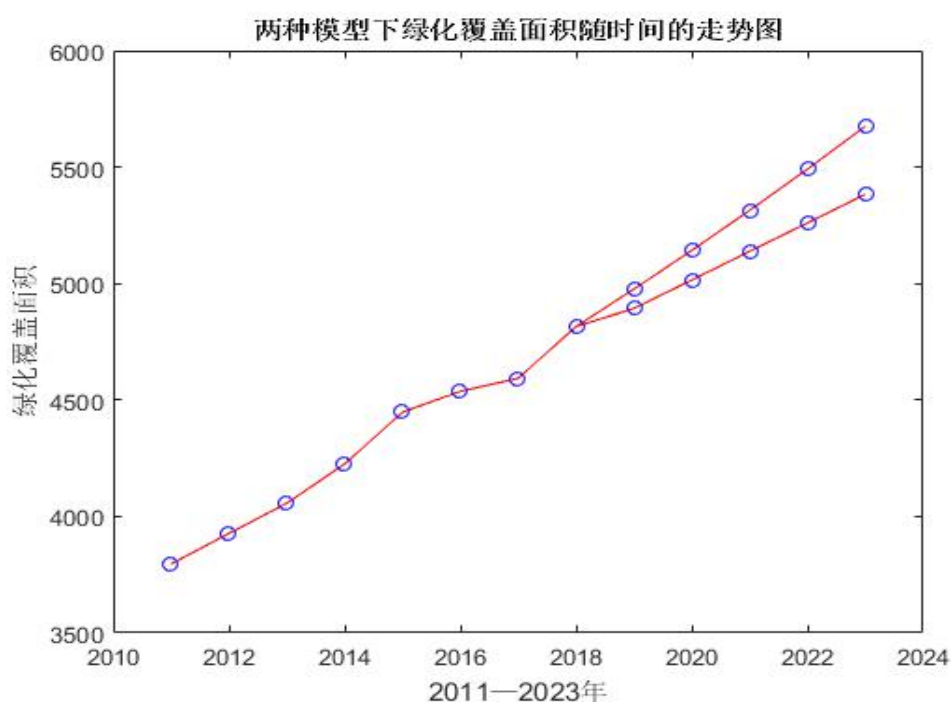
Daniel 检验方法: 对于显著水平  $\alpha$ , 由时间序列  $\alpha_t$  计算  $(t, R_t)$ ,  $t=1, 2, \dots, n$  的 Spearman 相关系数  $q_s$ , 若当  $|T| > t_{\alpha/2}(n-2)$  时, 则拒绝  $H_0$ , 认为序列非平稳。且当  $q_s > 0$  时, 认为序列有上升趋势;  $q_s < 0$  时, 认为序列有下降趋势。又当  $|T| \leq t_{\alpha/2}(n-2)$  时, 接受  $H_0$ , 可以认为  $X_t$  是平稳序列。

通过构建的时间序列预测模型我们可知, 未来五年的绿地覆盖面积分别 4976 km<sup>2</sup>, 5142 km<sup>2</sup>, 5314 km<sup>2</sup>, 5491 km<sup>2</sup>, 5675 km<sup>2</sup>。如下图所示:



**图 3 2011-2023 年焦作市区绿化覆盖面积走势图**

通过与 GM(1,1)灰色预测结果进行对比，其预测结果相差不超过总体的 5%。如图所示：



**图 4 2011-2023 年焦作市区绿化覆盖面积走势图**

从图中未来五年的预测结果来看，焦作市的落叶覆盖面积增长趋势呈现出线性增长，经调查分析后，得到的原因是由于受南水北调工程的影响，近年来的绿地面积增长较快，从而将这一性质体现到了预测结果之中，从长期来看焦作市绿地覆盖面积应该呈现出阻滞增长的形式，但由于南水北调工程及国家政策影响，其在短期内呈现线性增长是正常的，可接受的，对于时间序列预测结果而言也是相同的。

## 3.2 调研结果及分析

### 3.2.1 调查问卷分析

#### （1）问卷基础描述

本次调查发放问卷共 500 份，回收有效问卷 467 份。其中，受调查者职业涵盖社会的不同阶层，有学生、环卫工人、公务员、事业单位职员、园林设计师等；调查结果显示受调查情况良好。

#### （2）受访者对城市落叶回收意义的看法

基于被调查者的主观反应可以看出，有 72% 的人认为落叶回收有很大意义，仅有 1% 的人认为此举毫无意义。（图 2）这说明，大多数人对落叶回收持一种积极认可的态度。

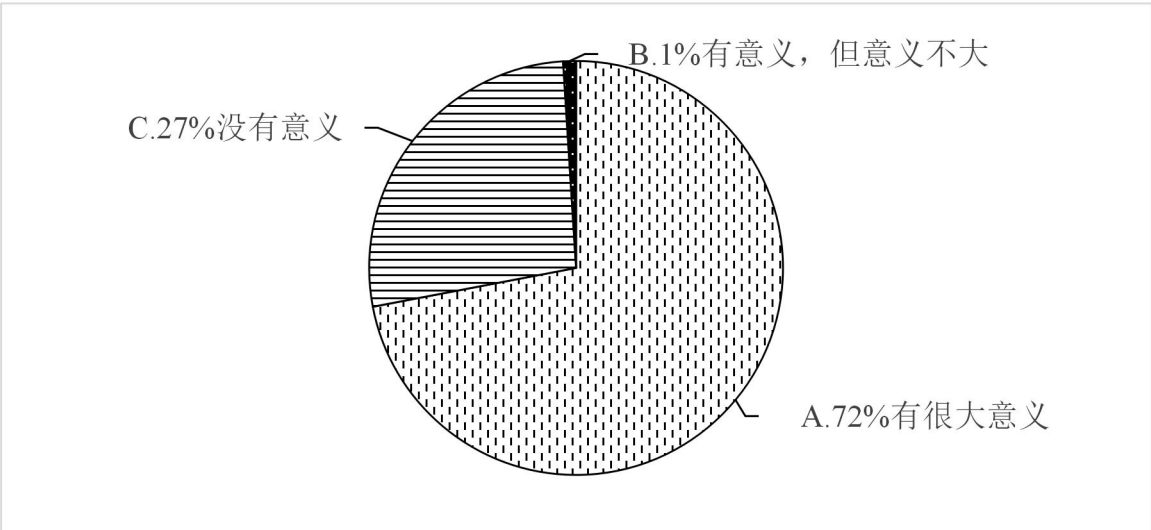


图 5 受访者对落叶回收意义的看法

#### （3）影响焦作市区城市落叶回收处理障碍

据调查问卷反馈的结果显示：资金不足、科技不支撑、政策力度不够和缺乏一体化管理都占有很大比例，说明目前的落叶回收利用仍处于初步发展阶段，存在很多障碍。此外，“缺乏一体化管理”所占比例最高，达到 77%，表明现阶段针对落叶回收的推进比较缺乏相关部门或单位制定的相关政策和办法。



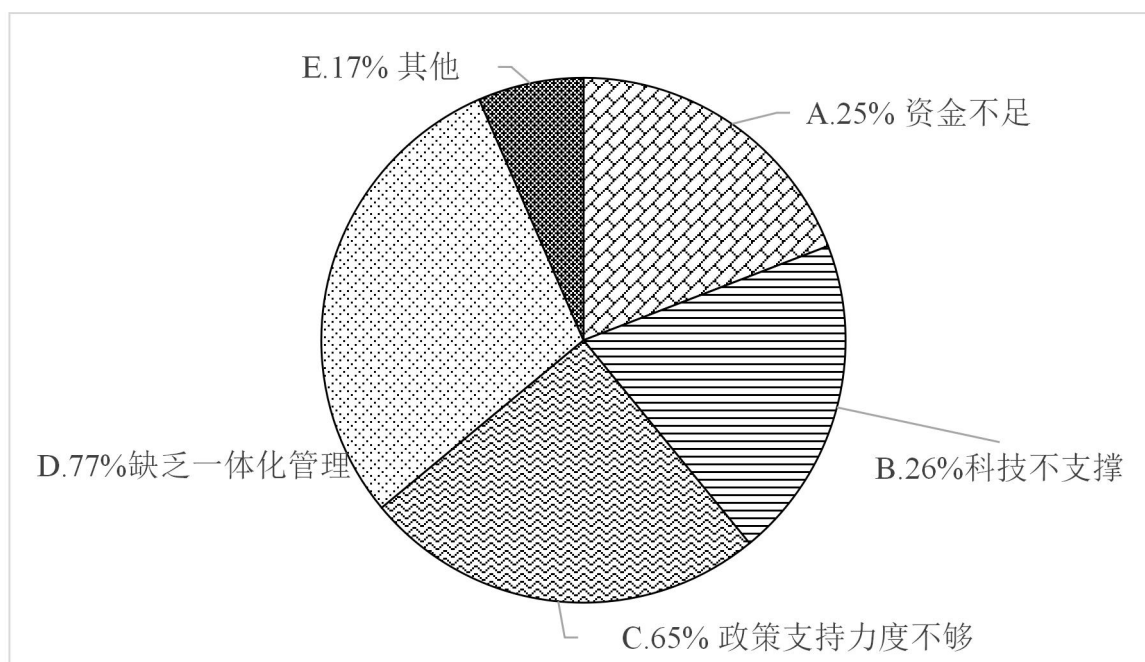


图 6 城市落叶回收处理中所存在的障碍

#### (4) 受访者对现阶段落叶处理方式的认识

受访者选择最佳处理城市落叶的途径中，混作垃圾处理、成为城市落叶景观及研磨落叶做饲料三种方法分别只占了不到 10%，而生物降解做菌种、提取落叶中纤维素做环保制品和制沼气三种方法则各将近达到 20%，这表明民众正在日渐注重生物能的回收利用而不是仅仅依靠原始的方法进行处理。城市落叶亟需采用更完善更先进的技术进行回收处理，实现资源最大化利用。

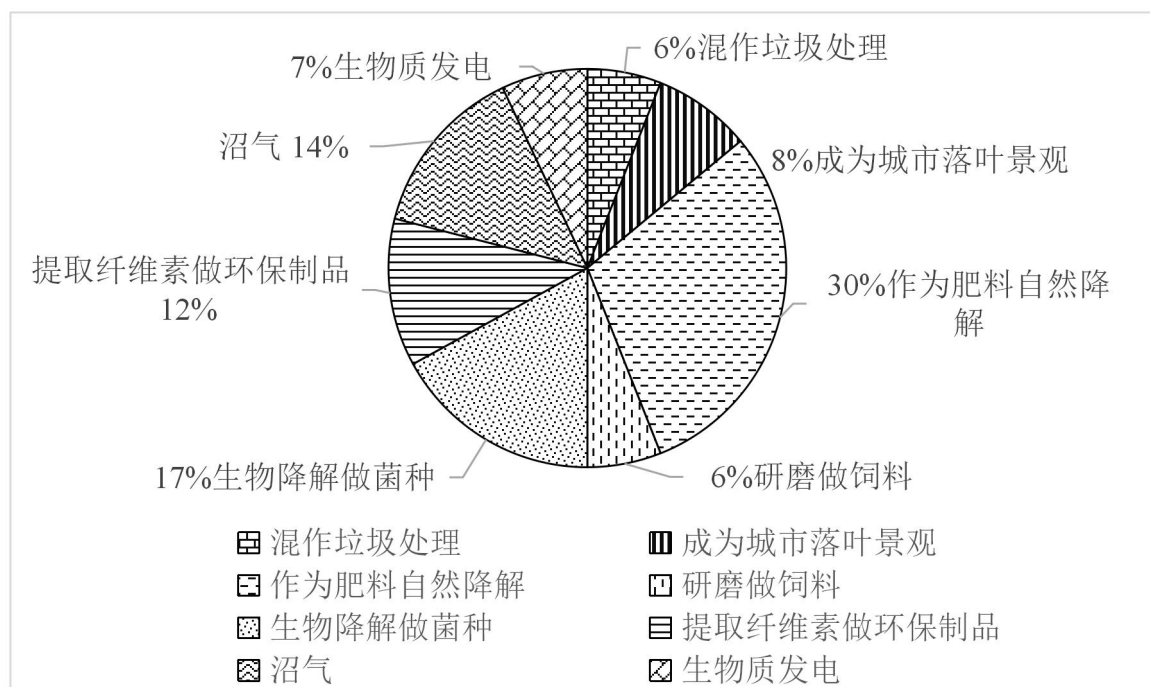


图 7 受访者对现阶段落叶处理方式的认识

### 3.2.2 市民访谈分析

为进一步了解城市落叶回收利用状况，调查前先对焦作市区市民进行了分析判断和抽样

调查。被访者主要包括校园后勤部、焦作市区园林局、环卫工人和市民，并对他们面对面进行了认真地访谈。

#### （1）校园后勤部

对河南理工大学校园后勤部工作人员进行了详细的访谈。初步了解到目前校园内的落叶还并没有被有效利用，大部分的枯枝落叶被清理整合之后就会被送去垃圾场或者进行搅碎处理，并未进行分类回收利用。一方面因为校园落叶量少，另一方面缺乏落叶处理途径。

#### （2）焦作市区园林局

焦作市区园林局生产技术科杨主任表示焦作的落叶主要在一些种植有梧桐、银杏等街道。至于落叶数量，没有做过专门统计，但落叶量每年能达到数万吨。她提到焦作市区区内的落叶和修建的树枝等一同运往缝山针附近废弃的大坑任其自然降解。之前，焦作市区也进行过落叶回收利用，采用粉碎机将其粉碎，再通过技术处理将其转化为肥料。但由于落叶与其他树枝较难分离，常常混在一起，碾碎、研磨的机器长时间运转的过程中常常会损坏，成本太高，这项回收利用的技术就惨遭淘汰。

杨主任认为城市落叶这种新能源值得引起关注，每年城市落叶量是巨大的，如果合理利用可能会带来良好的效益。但目前由于缺乏政策扶持，资金、技术支撑，落叶回收利用收到了严重阻碍。她提出建议，若想要对落叶进行回收利用以及效益研究，可以先调查各种落叶的成分含量，根据不同的含量成分进行不同的处理，可使效益得到最大化。

#### （3）环卫工人

在访谈环卫工人的时候，了解到城市每年落叶量巨大，处理方式和普通生活垃圾一样，先经过清扫后收集并运往垃圾中转站，在经过压缩以后运到垃圾处理厂进行填埋处理。环卫工人们纷纷表示，每到秋季落叶高峰期，实现落叶及时清扫十分困难，工作量巨大，且费时费力。所以城市落叶常被看作垃圾，很少有对落叶进行特殊处理循环利用，而且落叶的利用价值较低。落叶作为林业生物质未得到充分利用，与垃圾一起填埋或焚烧，不仅造成生物资源的浪费、占用土地资源、增加垃圾处理成本，还会污染环境，阻碍绿色生态发展。

#### （4）市民

大多数市民表示每到入秋之后，城市落叶纷纷，一到下雨天会容易堵塞下水道，天气干燥的话容易遇到一点火星都会容易发生火灾，如果不及时清扫容易产生安全隐患。而且，遇到风大的天气，街道飘散的落叶对市容市貌也有影响。自然条件下，落叶的降解需要很长时间，如果相关部门将落叶回收，循环利用资源，不但可以减少危险源，还可以减少资源浪费。另外对于市民的绿色生活建设有益无害。

### 3.2.3 社会意见与建议

将访谈对象的意见与建议整合：

（1）政府应该加大管理力度，出台相应政策并下发到各省及以下地区，增强约束力，真正将落叶收集利用起来。

（2）希望能够有专业人士对城市落叶资源的利用现状进行研究，对现有的处理方式进行利弊分析，并提出更好的处理意见与建议，利于高效利用落叶资源。

（3）绿化维护人员表示可以把落叶打碎，把土地精耙，使土粒与落叶混合，可以保水保肥，有利于绿化物的生长，也可以在苗圃和花木温室制作堆肥。

（4）焦作市区园林局工作人员给我们提供了多种落叶处理方式，比如可以利用机器将枯枝落叶加以粉碎，制成有机肥或土壤调节剂等。

（5）国家应当积极宣传落叶回收的益处，普及市民对落叶回收价值的认识，呼吁市民积极参与城市落叶回收过程。

（6）落叶处理中心应配置完善的设施，使处理过程更加的方便高效，从而助于我们实现

落叶转化为化肥、原物还土。

(7) 应有专门的科研人员对落叶处理进行研究, 并努力研发出更方便实用的设备, 以便更高效的处理落叶, 减少机器损耗。

(8) 针对校园落叶, 后勤人员也提出了很多建议: ①草地上的落叶可以尽量保留, 在绿地之间的小路上留点落叶, 这样反而更有风趣; ②在落叶过多的地方, 我们可以去掉浮在表面上的大部分落叶, 保留细碎的部分; ③最理想的方法是把落叶打碎, 然后把土地精耙, 使土壤与落叶混合, 这样可以保水保肥, 有利于植被的生长; ④清扫出来的落叶, 可在苗圃或花木温室里制作堆肥; ⑤重要交通干路上的落叶一定要及时清理, 务必保障交通安全。

综上所述, 调查问卷及访谈的结果反映出市民对落叶资源再利用的认可与支持, 也从基本问题入手, 为焦作市区充分利用落叶资源的建设与发展提供建议。

### 3.3 落叶处理方式评价

通过走访园林局收集相关专家对于落叶处理方法的评价并建立模糊综合评价模型(见附录二), 并结合评价矩阵的计算, 初步得出了各种处理方法的最优排序: 制沼气>生物质发电>提取纤维素制环保品>研磨做饲料>降解做菌种。

由于该评价方式较为主观, 缺乏必要的数据支撑, 所以选取了五种处理方法中评价等级较高的制沼气与生物质发电处理方式以及国外普遍采取的处理方式即堆肥进行数据分析以及能量转换关系的对比, 再对这三种方式进行定量计算验证以证实评价结果。

落叶制沼气: 城市落叶属于林业生物质, 利用落叶制沼气的过程是混合粪便和落叶(或掺杂其他秸秆等)等有机物在厌氧的条件下, 经过微生物的生理代谢产生主要成分为  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$ , 还有少量的  $\text{H}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}$  等可燃性气体。发酵后的沼液是非常好的液体有机肥料, 可以用沼液喷施蔬菜、果树和农作物, 除具有良好肥效之外, 还有抗寒、抗病虫害和增产的作用。而沼气发酵后剩余的半固体物质沼渣具有丰富的有机质、腐殖酸、氨基酸、氮、磷、钾等微量元素。沼渣可以作为土壤的改良剂, 减少使用化肥带来的环境污染。科学测定分析表明: 有机物约有 90% 被转化为沼气, 10% 被沼气微生物用于自身的消耗<sup>[6]</sup>。不同种类的落叶在不同温度之下的单位干物质的产气量是不相同的。通过对焦作市区园林局进行调查, 了解到焦作市区的树种极为丰富, 而这样对最终的转化结果统计带来了极大不便。据专家介绍, 焦作市区道路两侧栽种的主要树种为法国梧桐、杨树。因此, 在对落叶资源转化为沼气能源的量化统计时, 选取焦作市区具有代表性的法国梧桐作为单位干物质。为了追求产沼气的最大化, 将落叶发酵的温度设置为 30 摄氏度。为方便精确计算城市落叶资源转化为沼气的量, 假设焦作市区的法国梧桐年落叶量为焦作市区所有树种的年总落叶量。根据法国梧桐制沼气的转换关系可以得知, 在 30 摄氏度的条件下法国梧桐的单位干物质的产气量为 69.17mL/g, 焦作市区的年落叶量大约为 18206.652 吨。按这个转换关系, 将落叶制沼气大约可得到 1259354.1188 立方米的沼气, 按我国标准能源转换关系可以将所制得的沼气转换为 881.37 吨的标准煤, 相较于生物质燃烧发电所得到的资源更多, 也直观的反应了制沼气的处理方式资源利用率更高。

生物质发电技术: 采用循环流化床燃烧技术进行生物质燃烧, 循环流化床锅炉独特的流体动力特性和结构使其具备很多独特的优点, 如燃料适应性广、低温燃烧、燃烧效率高、负荷调节性能好等, 且树枝、树叶等林业废弃物很适合作为大型流化床锅炉的燃料, 其热转化效率可以达到 80%, 使生物质能在提供高品位电能的同时可以进一步实现节能减排。假设焦作市区的落叶采取上述方法进行处理, 焦作市区每年的落叶量预计为 18206.652 吨, 而落叶等林业废弃物每千克产生的热量大约为 2000 大卡(不完全燃烧), 而 1 卡=4.182 焦耳, 折算后得到焦作市区的落叶大约可以产生  $1.52 \times 10^{11}$  千焦的热量, 这一部分通过处理产生的热量将直接转化为电能, 这样可以得到大约  $4.23 \times 10^7$  度电, 这大约相当于 531.67 吨标准煤完全燃

烧所产生的能量。落叶资源属于一种可再生的绿色能源，燃烧发电不会产生二氧化硫等污染性气体，与传统化石燃料相比，落叶资源等清洁燃料燃烧产生的生物质能属于清洁燃料，燃烧后产生二氧化碳排放属于自然界的碳循环，不形成污染。据测算，运营 1 台 25000kw/h 的生物质发电机组，与同类型火电机组相比，可减少二氧化碳排放约 100000t/a。据国家发改委提供的数据显示，发电厂平均每千瓦时供电煤耗由 2000 年的 392g 标准煤降到 360g 标准煤, 2020 年将达到 320g 标准煤。即一吨标准煤可以发 3000kW·h 的电。工业锅炉每燃烧 1t 标准煤, 大约就会产生二氧化碳 2620kg, 二氧化硫 8.5kg, 氮氧化物 7.4kg, 对焦作市每年产生的落叶采用生物质发电的方式处理, 将会减少  $1.40 \times 10^6$ kg 二氧化碳气体, 4519kg 二氧化硫气体, 3541kg 氮氧化物气体的排放。因此, 利用落叶进行生物质发电, 替代煤炭能源的使用, 可以显著减少二氧化硫、二氧化碳等气体的排放, 从源头上减轻能源消耗带来的大气污染和温室效应问题。

落叶堆肥化处理：落叶中含有大量可以被利用的有机物，这也就有了落叶化春泥的古话。经查阅文献得知在落叶发酵腐熟的过程中通过控制其含水量、温度、C/N 比、加入适宜菌剂，以及对堆积物翻推的时间等一系列相关因素，就可以使落叶变成优质的落叶肥，可以用做土壤改良基质，花木栽培基质，另一方面落叶通过堆肥处理，由于腐殖酸含量显著增加，还可以用作代替泥炭基质的原料<sup>[7]</sup>。堆肥化处理仍是多种有机物混合发酵腐熟的过程，落叶堆肥过程通常辅以动物粪尿，泥炭，细泥土及少量的过磷酸钙，已知焦作市区年落叶量大约为 18206.652 吨，由此可知每年焦作市区能回收落叶制成近两万吨的落叶肥，按市场价落叶肥约 400 元/吨，其经济直接产出近 800 万元<sup>[8]</sup>。

尽管落叶堆肥能直接带来的经济效益可观和并且其所含营养成分丰富，从折纯养分的成本来看（表 2）落叶肥的单位面积有效养分投入成本高出化肥近三倍，落叶的堆肥化处理其意义更多是改变了堆肥的环境以使堆肥效果更佳，从节能减排的角度来看，落叶堆肥这种处理方式在节约能源和减少环境有害物排放上所作出的贡献并不大。

表 2 单位面积化肥与有机肥折纯养分投成本比较

指标	购置成本/元	运输成本/元	使用成本/元	合计/元
化肥（克纯养分）	0.04	0.005	0.005	0.05
落叶肥（克纯养分）	0.12	0.02	0.017	0.157

\*化肥价格按 1200 元 · t<sup>-1</sup> 计算，有机肥价格按 400 元 · t<sup>-1</sup> 计算

最终通过查阅相关资料以及进行相关数据分析之后，绘制出焦作市区落叶处理途径比较图：

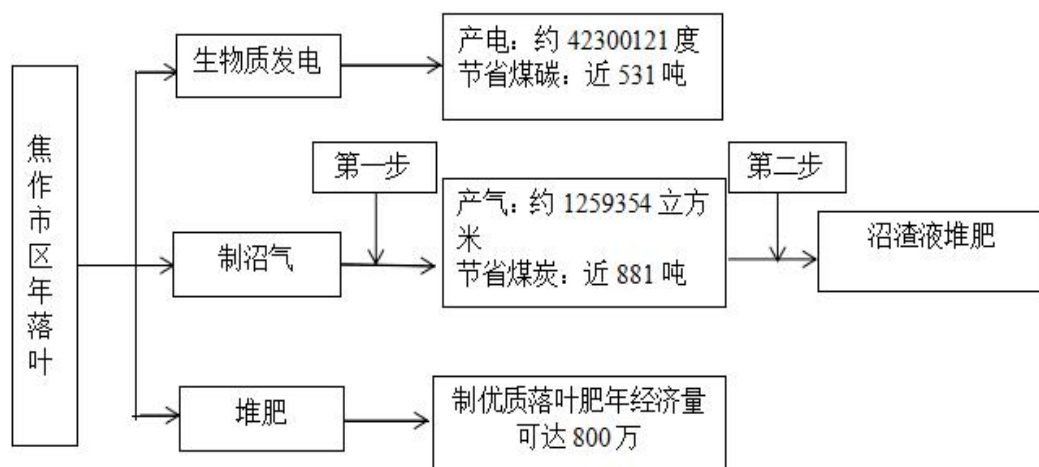


图 8 焦作市区落叶处理途径比较图

从图 8 中可以看出，在采用生物质发电处理方式时（假设必要的设备以及相关技术已经成熟并配备完成），经过处理之后可以将焦作市区落叶资源转换为 42300121.48 度电，并且在处理过程中不会产生其它的有害气体。产生的电能相当于 531.67 吨标准煤完全燃烧所产生的能量，而制沼气的处理方式所产生的沼气相当于 881.37 吨的标准煤。两者从落叶资源的转换上来讲制沼气处理方式所得到的资源较多，而从得到的能源的清洁程度来看生物质发电更具优势。堆肥这种处理方式并不产生可以利用的能源，而且在制沼气完成后剩余物质在经过处理之后就可以作为肥料，这样来看堆肥这种处理方式从过程上来看相当于制沼气处理方式的后续处理过程，所以在综合以上定量分析结果可以验证模糊综合评判模型的部分结果的合理性，为主观评价提供客观依据。

## 4.可行性分析及前景预测

### 4.1 可行性分析

为了维护正常的交通行走和美丽的市容市貌，城市管理者往往将落叶当作垃圾收集后进行填埋处理，这样做会耗费大量的人力、物力和环卫资源。但是如果将这些落叶进行回收再处理，变废为宝，将本来利用率低下的落叶进行适当的处理变为有用的资源被人类利用，这对社会、环境和人类都会大有裨益。

从技术角度分析，随着科学技术的不断创新和发展，目前发酵工艺和生物质能的发展迅速、技术成熟，沼气池也已覆盖多个地区，将回收的大量落叶进行再处理，发酵为生物肥料或制为沼气，对生物发酵的研究部门来说，难度不大且易于实行，而且落叶回收处理所需要的专业设备也非常容易购得。所以，落叶回收再利用所要求的技术难度并不高，完全可行。

从经济角度分析，目前，我国各城市平均落叶回收再利用率低于 5%，按照传统的落叶处理方法，把大量的落叶混同垃圾进行集中填埋，对环卫部门来说，对每条街道的清扫、装车、运输和填埋工作将会耗费大量的人力物力，而整个过程对社会来说收益几乎为 0。反之，如

果将其进行集中回收再处理，加工成能源进行释放，不仅节省了垃圾处理费、运输费等成本，而且回收处理后产生的能源可以再次为人类所用，这对有关部门来说还有一定的盈利空间。据科学统计分析，每千克落叶所产生的热量约为 2000 大卡，而每吨标准煤可以产生的热量约为 6000 大卡，估计焦作市区每年的落叶总量为 18206.652 吨，折换成标准煤就是 6068.884 吨。由此观之，如果将落叶回收利用起来，落叶产能带来的经济效益无疑是巨大的。

从环保角度分析，另一种传统的处理方式是对落叶进行集中填埋，落叶属于有机物，填埋后的自然降解需要时间，自然降解后形成的天然肥料短时间内也无法被人类利用。但是，如果对落叶采用发酵等技术进行处理，处理后产生的能源在被人类利用的同时更能减少对环境的污染。

从回收处理单位 SWOT 分析：

#### （1）SWOT 分析回收处理单位优势

根据焦作市区绿化指标显示，2017 年焦作市区绿化覆盖率为 40.54%，绿地总面积 4012km<sup>2</sup>，一年中可回收的落叶量高达 18206.652 吨，这些落叶经过回收处理后产生的能量相当于 6068 吨标准煤燃烧产生的能量，对于回收处理部门来说，这会是对又一种新型清洁能源的发掘，整个过程必将带来可观的经济效益。同时，根据国家政策号召，循环经济的规模将会进一步扩大到用户生活的多个方面。根据城市落叶回收与利用状况问卷调查和结果分析，72%的人认为落叶回收有很大意义，并认为落叶可以作为一种新能源重新被利用，所以焦作市区市民对落叶的回收报以极其乐观的态度，这将进一步促进焦作市区的落叶回收再利用工作的开展。另一方面，根据 GM(1,1)灰色预测模型和 Matlab 软件求解的结果，焦作市区 2018 年至 2023 年的绿化面积的预测结果为 4976 km<sup>2</sup>，5142 km<sup>2</sup>，5314 km<sup>2</sup>，5491 km<sup>2</sup>，5675 km<sup>2</sup>，这说明焦作市区的绿地面积还会有所增长，城市落叶的回收再利用具有一定的前瞻性。同时随着人民日益增长的精神需求，市民对生活的周边环境的要求也越来越高，焦作市区绿化面积和绿化覆盖率在未来几年还会有所增长，落叶回收再处理产业也将继续蓬勃发展。

#### （2）SWOT 分析回收处理单位劣势

目前焦作市区对落叶的处理方式还是以填埋为主，虽然人们环保意识在逐步提高，特别是认识到土壤对提高绿化质量的重要性，近几年部分辖区园林部门、直属公园及系统外的社会单位开始着手利用落叶，将其粉碎腐熟处理后用作容器苗培养基质或土壤改良。但是由于缺少相应政策支持和统一的管理，基本上是各个单位各自为阵，存在规模小、技术水平参差不齐等问题，很难使落叶回收处理形成产业化规模<sup>[9]</sup>；根据焦作市区以往对落叶回收处理的经验，存在回收处理单位规模大小不一、部分单位技术不够成熟、机器耐用性低、产品质量达不到要求的现象；落叶处理过程中所使用的机器设备如粉碎机的口径大小不一，精细度不够，难以生产种类更加丰富的产品。

#### （3）SWOT 分析回收处理单位机会

随着工业化进程的不断推进，我国生态环境的破坏日益严重，建设资源节约型和环境友好型社会的号召应运而生。根据目前焦作市区的环境报告分析，焦作市区环境质量居于全省末尾，焦作市副市长王付举在环保座谈会中强调，要制订科学有效的节能减排规划，量化减排指标，不让减排走过场，要采取可行的措施落实节能减排目标。因此，相关落叶回收处理单位要把握机会，在国家积极倡导和支持的基础上，综合焦作市区目前严峻的环境形势，利用焦作市区市民对循环经济的高度认同和对环保生活的积极追求，加快落叶回收利用体系的建构，形成循环产业链，攻克技术、设备和管理难题，抢占环保清洁能源市场。

#### （4）SWOT 分析回收处理单位威胁

在落叶回收利用体系构建完成后，有关落叶的循环经济产业链也将迅速形成，落叶从回收处理以及产品生产的一体化进程必将持续推进，相关循环经济产业单位的竞争会更加激烈，同时对产出效率的要求也越来越高，对于结构单一、技术落后的产业直接面临被市场淘

汰的风险，所以，各落叶回收单位要加强技术创新和管理模式创新。如何充分利用先进的处理技术和恰当的政治、经济等手段调整落叶的收集、处理等过程，解决当前存在的问题，使之达到减量化、资源化、规模化、产业化的最终目的，是当前焦作市区落叶处理研究的重点和实现可持续发展的要求，同时也是回收处理单位所面临的重大挑战<sup>[10]</sup>。

由上述 SWOT 法对城市落叶回收处理分析得到 SWOT 矩阵如下图 9：

内部条件因素 外部环境因素	机会（O）	威胁（T）
	1.焦作市区环境污染严重，政府重视节能环保产业发展 2.市民积极追求环保健康生活 3.清洁能源市场极具活力	1.循环经济产业竞争激烈 2.产出效率要求提高 3.技术创新亟待提高 4.管理模式急需创新
优势（S）	优势—机遇策略（SO）	优势—威胁策略（ST）
1.城市落叶总量大 2.落叶回收产能高 3.绿色环保，便于实施 4.市场前景广阔	发挥城市落叶资源绿色、高产优势，抓住政府积极号召发展循环经济的机会，开辟落叶回收再利用能源市场，加快促进落叶资源的回收再利用。	通过处理城市落叶资源的优势，化解回收处理单位的威胁，进一步加快产业升级和工艺创新，保证城市落叶回收处理工作持续高效推进。
劣势（W）	劣势—机遇策略（WO）	劣势—威胁策略（WT）
1.缺乏针对性政策支持 2.缺乏一体化管理 3.落叶处理的机器设备精度低，耐用性低 4.产品质量不高	以群众对绿色环保生活的追求为导向，借此机会引进先进的落叶回收处理经验，提高产品质量，注重社会与经济效益，走更加高效的、可持续发展的道路。	完善与落叶回收再利用相关的法律法规，注重产品质量，深化管理模式改革，提高落叶资源市场竞争力，推动城市落叶回收再利用市场化进程，促进相关产业加快结构转型。

图 9 城市落叶回收处理单位 SWOT 矩阵分析图

## 4.2 前景预测

政府方面：城市落叶属于园林废弃物的一种。根据国家住建部《关于建设节约型城市园林绿化的意见》精神要求，为全面落实科学发展观，加快建设节约型社会，促进城市建设健康发展，鼓励落叶再利用，鼓励通过堆肥、发展生物质燃料、有机营养基质和深加工等方式处理，减少占用垃圾填埋库容，实现循环利用<sup>[5]</sup>。在此意见前提下，国内大中型城市先后开始探索研究落叶回收再利用工作。上海市于 2009 年率先提出《绿化植物废弃物处置技术规



范》，近年来建立了多处绿化处置场地，实现规范化处理；北京市于 2005 年修建了植物垃圾处理厂，将落叶制成栽培基质、食用菌的菌棒和压制成营养块，实现生物质能源再利用。<sup>[6]</sup>此外，国内首座绿化废弃物再生生物燃料工程也于广州市投产。以更长远的视角来看，面对我国目前并不乐观的资源紧张局面和环境污染现状，国家、政府必将大力推广循环经济、着力开发更加环保高效的经济模式。因此，构建落叶回收再利用体系符合我国资源环境现状，必将加快我国建设资源节约型和环境友好型社会的步伐。

用户方面：随着我国工业化进程的不断推进，人类赖以生存的环境也在不断遭到破坏，人民群众对环境的要求越来越高，改变传统的落叶处理方法，减少处理过程中对大气和环境的污染，多位一体构建落叶回收再利用体系，一方面符合焦作市区市民对优良宜居环境的需要，群众乐于接受；另一方面，落叶回收处理产生的可再生清洁能源将会减少人们对煤炭、天然气等能源的使用，向更加环保、节能的生活方式迈进<sup>[9]</sup>。未来在落叶回收再利用体系的全面推行下，人们在享受舒适干净的生活环境下，还能体验使用落叶回收处理产生的清洁能源的便利。这将进一步提高市民的环保意识和对循环经济的认可度，更多环保的循环经济模式会得到越来越多的支持。

综上所述，摒弃传统的落叶处理方式，采用科学的技术和工艺，构建可行的城市落叶回收体系，对落叶进行回收再处理，从而产生清洁的可再生能源，从技术、经济和环保角度来看，都是完全可行的，在减少污染、带来收益的同时，还促进了资源的有效利用。从长远角度看，落叶回收再利用体系的建立将会对我国的资源紧张现状有一定的缓解作用。

## 5. 对策建议

### 5.1 政策经济双管齐下，鼓励城市落叶回收

政策扶持不够，缺乏经济支撑是城市落叶回收利用率低下最重要的原因。我们将从三个角度建议政府加大扶持力度，同时设置相关服务机构和明确的落叶权责管理部门。

首先，从宏观角度看，国家可以借鉴美国的《资源保护与回收法》，建设循环经济与落叶等有机废弃物有效清除的总纲性专项法律，对落叶收集、堆肥和后加工的工艺程序、相关的法令和标准进行严格规定。对落叶回收利用进行规划、减少填埋，除了完善一系列的法律政策和税制外，根据国家出台的相关规定和意见，各省、市应根据实际情况制定或完善相应的规程和城市落叶循环利用相关的促进条例。

其次，政府可以制定一系列明确的鼓励政策，例如出台落叶回收利用保护政策，积极鼓励企业开拓落叶再利用市场，并加大资金投入，给相关企业和部门以政策和资金支持，使之能和单纯消耗资源的企业竞争，实现良性循环。落叶既是城市废弃物，自身处理需要费用，也是和有机肥相似的有机产品，理应享受到和农用有机肥相似的补助政策<sup>[10]</sup>。目前城市落叶的主要应用技术为堆肥发酵、高温厌氧炭化技术和生物质能源处理技术。无论是现有技术，还是促进落叶利用效率更高的生物质发电技术和沼气制取等技术的发展都离不开经济支撑，而科技进步的关键，是实现落叶资源利用最大化的突破点。最后，政府也应给予相关科研院所及单位长期稳定、相对充足的科研经费支持，提升落叶再利用基础研究和应用研究在自主创新中的应用，早日实现关键技术的突破和示范应用推广<sup>[11]</sup>。建立良好的运行机制，在宏观国家层面，中观区域层面和微观企事业层面逐步实施，逐步形成“政府主导、公众参与、法律规范、市场推进、政策扶持、科技支撑”的运行机制。



## 5.2 充分利用宣传媒介，提高全民环保意识

政府除了要进行相关政策和经济的补给外，在城市管理中更承担教育和提高全民环保意识的责任。焦作市政府应充分利用报纸、网络、新闻、宣传栏等媒介，改变城市居民对城市落叶的认识，呼吁全民动员起来投身入搜集落叶中，减轻环卫人员的工作量。可以组织城市落叶回收工艺活动、落叶再利用创意大赛、落叶绘画比赛等趣味活动，调动市民参与落叶回收再利用活动的积极性，增强市民保护生态环境的责任感与危机感。另一方面，政府可以依据城市绿化布局做出科学规划，正确安置堆肥箱，形成示范街道，通过教育、宣传等方式全面普及落叶循环利用的意义，鼓励环卫工人和市民将城市落叶堆积起来放入堆肥箱，自制堆肥。自制堆肥又可以作用于城市绿化带，这样一来，城市落叶就顺利地进入生态循环过程之中，同时更有利于促进城市绿地可持续发展。

社会大家庭如此，学校作为教育培育基地更应积极行动起来。焦作市区大、中、小学校除了要对学生进行环保知识的传播教育外，还可以通过制作海报、举办讲座等方式，号召学生积极投身于落叶的循环利用过程中，组织学生搜集落叶并对落叶进行分类，鼓励学生在实验课上利用收集的落叶自制有机土壤种植绿植，或在公园、花坛等地进行掩埋活动等。

## 5.3 注重落叶生态效益，促进生态经济发展

落叶经济是新的发展观，最大限度地减少废物排放，保护生态环境，是我国发展循环经济的需要<sup>[12]</sup>。

落叶再利用市场经济效益巨大，利用城市落叶制成有机肥、生物质发电、提取落叶中的纤维素等制作环保用品、制沼气等等。以有机肥料为例，有机肥料市场需求大，国内一座公园每年仅购置有机肥料的费用就需要花费几万元至几十万元不等，而且这种需求属于常态。若将落叶制成新型花木基质、有机园林覆盖物等，经济效益将更高<sup>[12]</sup>。许多树木的叶子具有一定的药用价值。例如桦树具有降血脂软化血管的作用，银杏叶中提取的黄酮醇有消除人体内自由基的功能和扩张血管的作用；银杏内脂可以改善血液循环，市场前景较好。<sup>[11]</sup>如果将不同树木的落叶分类收集，科学处理后入药，那么市场前景会更好。

另一方面，国家提倡生态文明建设就是生产发展、生活富裕、生活良好。生产不发展不是生态文明，所以还要靠经济，靠绿色经济、生态经济来支撑，没有生态经济的支撑，生态文明建设是很困难的。生态经济是指在生态系统承载能力范围内，运用生态经济学原理和系统工程方法改变生产和消费方式，挖掘一切可以利用的资源潜力，发展一些经济发达、生态高效的产业，建设体制合理、社会和谐的文化以及生态健康、景观适宜的环境。生态经济是实现经济腾飞与环境保护、物质文明与精神文明、自然生态与人类生态的高度统一和可持续发展的经济。城市的落叶资源开发利用和区域发展不损害其他区域满足其需求的能力，并且能和农业资源环境实现共享和共建。政府鼓励企业利用落叶资源收获经济效益符合生态经济，更能有效促进生态文明建设。企业也可以积极探索落叶回收利用的市场，提高节能意识，同时获取经济效益，进一步投入技术研究、添加精良设备等深入挖掘落叶能源潜力。

## 5.4 树立良好经营理念，科学利用城市落叶

根据模糊综合评价模型得出的适合焦作市区经济、技术条件的最优处理城市落叶的方式为制沼气。该途径推广至全国其他省份可能会不适宜，结合其他城市情况和文献调查的结果来看，城市落叶具有多种价值，城市落叶种类多，用途广，挖掘落叶潜能需要考虑城市落叶的多种用途，合理开发将会实现城市落叶资源的最大化利用。因此提出从以下六个方面针对城市落叶利用的主要途径提供实用性建议：

研磨做饲料：城市落叶营养含量丰富，特别是紫穗槐、桑、榆等树叶中的蛋白质含量都在 20% 以上；旱柳树叶中含有多种氨基酸，适口性好，其营养成分主要指标高于一般牧草，非常适合加工饲料。

制成有机肥或土壤调节剂：落叶以有机质为主，纤维素、木质素含量高，将废弃资源落叶转化为天然肥料使资源得以充分利用。大城市可以利用市区周边空闲土地建设露天堆肥厂等，将城市的整个堆肥系统实行质量控制，合理有效利用落叶资源。这种优质肥料可以在苗木、果树、花草栽培中做底肥，不仅效果好还不会引起土壤板结。<sup>[10]</sup>如果当年的城市落叶消化不掉，也可以当作一种能源物资存储起来，以备循环之用。

生物降解制菌种：利用微生物把落叶枯枝发酵制成培植菌菇的菌床，特别是椴树、栎树、桦树、乌柏、榆树等树的树桩或朽木制作菌床效果很好<sup>[13]</sup>。另外，利用落叶栽培食用菌也不失为一种好方法。落叶松叶经过碱处理、蒸馏法或发酵法，去除针叶当中的脂类物质栽培食用菌的方法较常用。用约 70% 经处理后的针叶，再辅以约 30% 的麦麸、玉米面、无机盐、碳水化物加菌种培养出的食用菌更接近原生态的森林环境，食用后口感较好<sup>[14]</sup>。

开发美工作品：提取落叶中纤维素做环保制品、因“叶”制宜制作商品等工艺品不仅能够充分利用落叶，而且还带动经济发展，实现环保与经济双赢。银杏、枫叶等落叶五彩斑斓，采用分类法对这些落叶加工处理，进行绘画、镂空、粉碎提取等，制成书签、贴画、杯子、筷子、环保纸袋等工艺品或一次性餐具，搞活落叶经济。

生物质发电：园林管理部门可以与电厂进行有效对接，按照电厂要求标准，将城市落叶归集到一起，压实包装，投入大炉中代替煤炭燃烧，将热能转化为电能。据悉，一吨落叶经过专业处理后，可以产生 2000 大卡的热量，三吨半的落叶就相当于一吨标准煤的发热量。虽都是燃烧反应，但大型除害设备已将硫、氮含量降到最低值。且燃烧后变成草木灰，还是富含钾、钙<sup>[4]</sup>。目前广泛运用的三种方法：直燃发电、气化发电和混合发电，这些方式对落叶的预处理要求较低，落叶经过简单处理甚至无须处理就可投入炉内燃烧，大大提高了处理的效率，减量化程度高且资源利用率高。落叶资源生物质发电属于清洁能源，这项技术的运用可以极大改善我国目前不可再生资源短缺的状况，改善能源结构，缓解能源危机。

除此以外，城市落叶还可以用于保健等方面。不同种落叶富含维生素、氨基酸等微量元素，且含量或种类不尽相同。例如榆树叶可安神，预防维生素缺乏症；柳树叶利尿、解毒、清热、透疹；柞树叶具有止咳、解毒、消肿等功效；桑树叶抗凝血、降血压、降血脂；枸杞叶补肝益肾、祛风除湿；山楂叶理气通脉、化浊降脂；竹子叶抗氧化、抗癌症、改善睡眠；柏树叶治痔疮、烫伤等；槐树叶清热燥湿、祛风止血<sup>[14]</sup>。但是城市中树木多以法桐、银杏为主，因此利用这些树木落叶中的营养元素还有待进一步研究与考察。据调查，目前焦作市区的落叶主要以槐树、杨树、枫树为主，为了减少柳絮、杨絮等对人们的生活带来不便，焦作市区园林局正在规划改种银杏等其他观赏树种，相关部门应将不同树种落叶的价值也考虑在内，促进焦作市区落叶经济更加长远的发展。

## 5.5 构建城市落叶循环再利用体系

结合对焦作市区的实地调查、访问有关专家以及建立数学模型对现阶段的城市落叶回收处理方法进行评判，得出符合焦作市区的经济、技术发展现状的落叶处理途径最优排列，但据实际情况还会有所变动，因此，研究构建出一套可行的城市落叶循环再利用体系，以便将落叶的处理途径扩大化，实现资源利用率最大化。

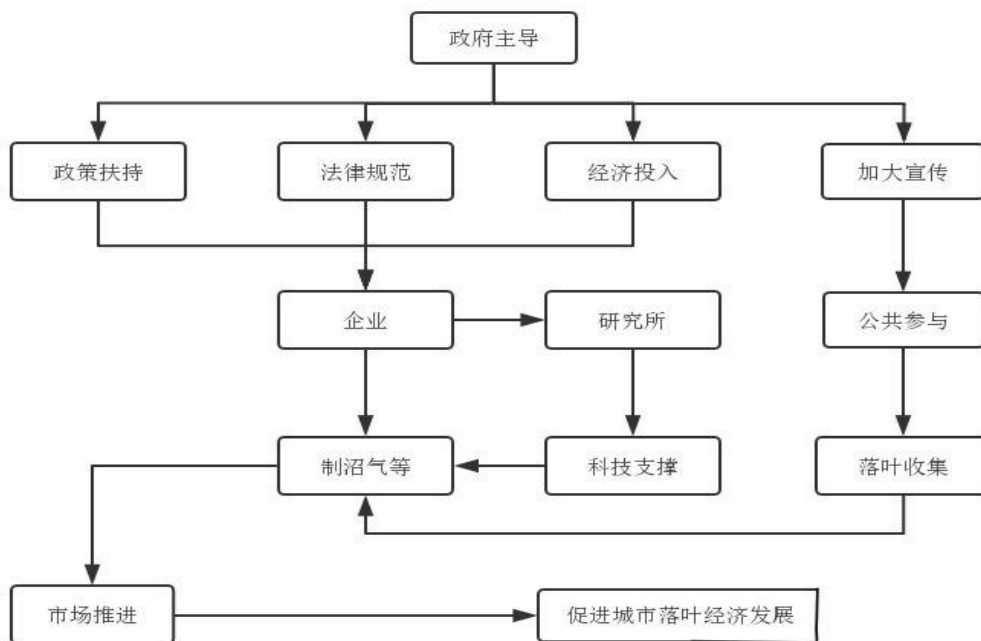


图 10 城市落叶循环再利用体系

## 6.结论与启示

落叶随处可见，如果将其合理回收再利用，前景广阔。本研究以焦作市区落叶回收利用为研究对象，通过实地走访调查、模型演算等方法，深入分析了焦作市区落叶回收利用的现状和问题，并演算出最优的利用方法，提出了合理的对策建议，以期对焦作市区落叶回收利用的现状改进起到积极和关键的作用。

第一，城市落叶回收利用会被日渐重视和稳步发展。根据国家总体规划精神，建设资源节约型、环境友好型社会已经被放在突出位置。同时，随着国家经济的稳步发展，科技条件逐渐完善，城市将逐步调整产能结构，重视落叶等常见资源整合利用。

第二，城市落叶资源丰富，具有回收再利用的必要性。首先由 GM(1,1) 预测模型结果显示，未来五年的绿地覆盖面积分别 4976 km<sup>2</sup>，5142 km<sup>2</sup>，5314 km<sup>2</sup>，5491 km<sup>2</sup>，5675 km<sup>2</sup>，其次，通过时间预测模型验证出 GM(1,1) 预测模型结果是合理的，这说明焦作市区的落叶面积在未来还会有所增长，间接表明焦作市区落叶回收利用很有意义，并且前景广阔。

第三，焦作市区落叶回收滞后，问题显著。主要是回收利用过程中，相关人员缺乏资源回收利用意识、缺少统一的处理标准、涉及多人员及部门且权责不明，导致处理混乱，无法有效回收。

第四，定量分析得出焦作市区落叶资源处理的最优途径排列。整理问卷及访谈数据之后，通过模糊综合评判模型以及定量分析对现有落叶处理方法进行评价，最后得出焦作市落叶资源处理最优途径为制取沼气，且在此过程中，可与生物质发电和堆肥等落叶处理方法相结合，充分、高效地利用落叶资源，节约煤炭能源，减少污染物排放。

综上所述，建立统一的落叶管理机制，利用落叶发酵制沼气等合理的处理方法，可以有效的利用焦作市区丰富的落叶资源，减少资源浪费。此外，由于各种条件限制，落叶回收利用需稳步发展，在前进中发现问题，解决问题，以促进焦作市区更好的发展。

## 结语

将城市落叶资源进行回收利用,不仅有利于资源的循环利用和合理配置,还可以在在一定程度上减少对大气和环境的污染。通过调查焦作市区城市落叶分类现状,综合调查与评价结果,定量分析针对落叶的处理途径的节能与减排效果,得出优劣处理途径,并对落叶回收利用难以展开的制约因素和基于焦作市区落叶回收处理率低下、技术支撑缺乏的条件下,提出构建城市落叶循环再利用新体系,逐步提升焦作市区落叶回收利用率,从而减少对煤炭等不可再生能源的依赖,并减少能源利用对环境的污染。本文构建的落叶循环再利用新体系可以推广至全国各个城市,从而充分利用落叶回收再利用释放的能源,有效减少我国对其他不可再生能源的依赖性,同时使能源的利用更加绿色环保,实现社会、经济 and 环境的“共赢”。各方要积极协调配合构建落叶回收再利用体系,为落叶的资源利用出力献力。落叶回收再利用是一项绿色的产业,符合创新绿色的发展理念,功在当代,利在千秋。因此,要解放思想,着眼长远,充分认识其中的重大现实意义和深远的历史意义,我国的城市生态文明建设和可持续发展的目标就一定能早日实现。

## 谢辞

在本次节能减排比赛的进程当中,团队曾在课题的选择、调研如何实施、再到最后的定稿等等,期间的很多方面遇到了问题。在学院指导老师杨小林的细心指引与教导下,我们制定出了具体可实施的计划。并在学院的支持下,前往了林业局、环卫局、园林局,各个部门就我们提出的问题给出了耐心的解答和合理的建议,每次前往咨询都能收获到很多东西,这给了团队极大的鼓舞。最后特别感谢背后为此次比赛顺利进行而默默付出的有关部门和组织。

## 参考文献。

- [1] 范海荣, 华珞, 傅烨等。城市垃圾堆肥的生态效应与对策研究[J]。土壤, 2004, 36 (5): 498-505
- [2] 梁晶, 吕子文, 方海兰.园林绿色废弃物堆肥处理的国外现状与我国的出路[J].中国园林, 2009.(4).07-11.
- [3] Turner R,Salmons,Powerl J ,Craighill A.Green taste management and political economy[J].J Environ Manag,1998,53:121-36
- [4] 周肖红.绿化废弃物堆肥化处理模式和技术环节的讨论[J].中国园林, 2009. (4) .07-11
- [5] 建设部出台关于建设节约型城市园林绿化的意见 [J]. 城市规划通讯, 2007 (17): 3-5.
- [6] 王艳玲. 优化落叶发酵产生沼气的预处理条件和发酵条件的实验性研究[D].河南农业大学,2012.
- [7] Cailile WR.The effects of environment lobby on the selection and use of growing media [J].ActaHort,1999.481-505.
- [8] 中国化肥资讯网.化肥产能统计数据.<http://www.npk.cc/gjtj/listy.php>,2008.

- [9]田艳 . 浅析城市园林绿化废弃物处理 [J]. 农业与技术, 2016 (12) : 229.
- [10]宋青 . 苏州城市园林植物废弃物资源化利用问题探讨 [J].中国科技信息, 2013 (24) : 25-27.
- [11]王 芳, 李洪远.绿化废弃物资源化利用与前景展望 [J].中国发展, 2014 (14) : 5-10.
- [12]孔德政,李文玲,王鹏飞,张广守.城市落叶经济与绿地的可持续利用[J].河南科学,2005(06):49-51.
- [13]王 叶 妮 . 落 叶 咋 处 理 , 大 家 一 起 想 想 招 [EB/OL]. 潍 坊 晚 报 (2013-11-12)  
<http://wfwb.wfnews.com.cn/content/20131112/Article110002EL.htm>
- [14]贾靖宇,吴婷,韩晓辉,苗力.新时期城市园林落叶再利用方式探析[J].吉林农业,2018(05):57.

## 附录

### 附录一：调查问卷

#### 城市落叶回收与利用状况

您好！感谢您在百忙之中抽身参与此次调查，绿色发展是构建高质量现代化经济体系的必然要求。习近平同志提出，培育壮大节能环保产业，推进资源全面节约和循环利用。为了解现阶段城市落叶回收与利用状况及对其进行可行性分析，特设计此问卷。调查采取匿名方式，对您的信息完全保密。请放心答题。

问卷共有 12 题，请您根据实际情况作答，答案没有正错之分。

\* 1、您现从事的工作是？

- A. 学生
- B. 环卫工人
- C. 公务员
- D. 事业单位职员
- E. 园林设计师
- F. 其他

\* 2、您认为城市落叶回收利用是否有意义？

- A. 有很大意义
- B. 有意义，但不大
- C. 没有意义

\* 3、您对落叶这种新能源有了解吗？

- A. 了解
- B. 不太清楚，但是听说过
- C. 不了解

\* 4、您认为最应进行落叶处理的地点为？

- A. 人行道
- B. 学校
- C. 公园绿地
- D. 街道社区

\* 5、【多选题】您认为城市落叶回收处理中有哪些障碍？

- A. 资金不足
- B. 科技不支撑
- C. 政策支持力度不够
- D. 缺乏一体化管理
- E. 其他

\* 6、您所认为的现阶段落叶处理方式哪个更合理？

- A. 混作垃圾处理
- B. 成为城市落叶景观
- C. 作为肥料在环境下自然降解
- D. 研磨做饲料
- E. 生物降解做菌种
- F. 提取落叶中纤维素做环保制品

G.制沼气

H.生物质发电

I.其他

\* 7、【评价题】您认为将回收的落叶做饲料的话，

	好或高	较好或较高	中等	较差或较低	差或低
经济投入	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
环保程度	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
减量化程度	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
操作管理要求	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
资源利用率	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

\* 8、【评价题】您认为将回收的落叶生物降解做菌种的话，

	好或高	较好或较高	中等	较差或较低	差或低
经济投入	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
环保程度	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
减量化程度	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
操作管理要求	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
资源利用率	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

\* 9、【评价题】您认为将回收的落叶提取纤维素做环保制品的话，

	好或高	较好或较高	中等	较差或较低	差或低
经济投入	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
环保程度	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
减量化程度	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
操作管理要求	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
资源利用率	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

\* 10、【评价题】您认为将回收的落叶制沼气的話，

	好或高	较好或较高	中等	较差或较低	差或低
经济投入	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
环保程度	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
减量化程度	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
操作管理要求	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
资源利用率	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

\* 11、【评价题】您认为将回收的落叶生物质发电的话，

	好或高	较好或较高	中等	较差或较低	差或低
经济投入	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
环保程度	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
减量化程度	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
操作管理要求	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
资源利用率	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

\* 12、您觉得还有其他什么途径能有效处理落叶？

## 附录二：走访调查记录

### 一、校园落叶处理调查

#### （一）访谈目的

为初步了解落叶处理流向，我们以校园为调查范围进行调查。

#### （二）访谈对象

河南理工大学后勤部

#### （三）问题摘要

1. 校园内，一般回收的落叶都如何处理呢？
2. 您认为有必要将落叶当作一种新能源来利用吗？
3. 您认为落叶回收利用的阻碍有哪些？
4. 您能针对落叶回收利用提供宝贵建议吗？

### 二、城市落叶处理调查

#### （一）访谈目的

为深入了解城市落叶回收与利用状况。

#### （二）访谈对象

焦作市区园林局、环卫工人和居民

#### （三）问题摘要

1. 您认为有必要回收利用城市落叶吗？
2. 您所了解到的落叶回收去向有哪些？
3. 您认为当前的处理落叶的方式合理吗？
4. 您认为落叶回收利用的途径中存在什么样的障碍？
5. 您认为较为合理的落叶回收处理方式有哪些？



### 附录三：模糊综合评价模型

为了对众多落叶处理方法进行评价，参照了企业在对人才进行综合评定方法，以此作为对落叶处理方法的评价方法。

主要步骤为以下几点：

(1) 确定因素集。对处理方案，需要从多个方面进行综合评判，如减量化程度，经济投入，环保程度，操作管理，资源利用率等。所有这些因素构成了评价指标体系集合，即因素集，我们记为：

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$$

(2) 确定评语集。由于每个指标的评价值不同，往往会形成不同的等级。如果对落叶处理方案的评价有好、较好、中等、较差、很差等。由各种不同决断构成的集合称为评语集，记为：

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$$

(3) 确定各因素的权重。一般情况下，因素集中的各因素在综合评价中所起的作用是不相同的，综合评价结果不仅与各因素的评价有关，而且在很大程度上还依赖于各因素对综合评价所起的作用，这就需要确定一个各因素之间的权重分配，它是  $U$  上的一个模糊矢量，记为：

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$$

式中： $a_i$  为第  $i$  个因素的权重，且满足  $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。

此处采取众人评估法与专家法相结合的方法来确定权重。权重的分配上需要较为专业的知识与判断。调查问卷反馈的结果，在统计之后缺乏说服力，而分配指标权重的过程本身就存在很强的主观因素。为了尽可能的减少主观因素给模型带来的影响，通过走访焦作市区林业局、园林局，并请相关专家进行了评估。专家结合焦作市区的经济情况，以及现行焦作市区的处理能力，对因素集所占权重进行了分配，将主观因素所带来的影响降到最小。最后总结出专家给出的分配结果为：经济投入占 20%，环保程度占 30%，资源利用率占 30%、减量化程度、操作管理各占 10%。

这样可以确定矢量  $A$  为：

$$[0.2, 0.3, 0.3, 0.1, 0.1]$$

(4) 确定模糊综合评判矩阵。对指标  $u_i$  来说，对各个评语的隶属度为  $V$  上的模糊子集。对指标  $u_i$  的评判记为

$$R = [r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}]$$

各指标的综合模糊评判矩阵为：

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

它是一个从  $U$  到  $V$  的模糊关系矩阵。

(5) 综合评判。如果有一个从  $U$  到  $V$  的关系  $R=(r_{ij})_{n \times m}$ ，那么利用  $R$  就可以得到一个模糊变换：

$$T_R: F(U) \rightarrow F(V),$$

由此变换，就可得到综合评判的结果  $B=A \cdot R$ 。

综合上述建模原理以及调查问卷与走访焦作市区园林局和林业局的评估报告，建立了以下五种方法的模糊综合评判矩阵。尽管现阶段焦作市区并无将生物质发电这一技术展开实施，但全国其他城市已经将生物质发电作为一种可行途径，因此，在评判现有落叶处理方法时将生物质发电这一技术考虑在内，综合考虑该技术运用在焦作市区的可操作性。

1) 将回收的落叶研磨做饲料

根据焦作市区园林局的和林业局的技术人员的评估与调查问卷的反馈结果，我们对其所针对的不同因素进行打分评价，因素集中的因素为经济投入、环保程度、减量化程度、操作管理、资源利用率，现在对不同因素依照好、较好、中等、较差、差 5 个等级来打分，以经济投入为例，根据调查问卷的反馈结果和专家的意见，按上述五个等级打分，结果如下：

表 2 焦作市区经济投入等级打分表

好	较好	中等	较差	差
0.5	0.4	0.1	0	0

同理将其余四个因素也按上述方法打分：

表 3 焦作市区其他因素投入等级打分表

好	较好	中等	较差	差
0.1	0.2	0.4	0.3	0
0	0	0.7	0.2	0.1
0	0	0	0.8	0.2
0	0	0.3	0.3	0.4

最终将之汇集为一个完整的模糊综合评判矩阵 $R_1$

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0.2 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.3 & 0.3 & 0.4 \end{bmatrix}$$

2) 将回收的落叶用生物降解做菌种

依照上述方法将此评判矩阵定为：

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.12 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0.2 \\ 0.4 & 0.2 & 0 & 0 & 0.4 \end{bmatrix}$$

3) 提取纤维素做环保品

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.1 & 0.5 & 0.2 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0.2 \\ 0.1 & 0.4 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4) 制沼气

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

### 5) 生物质发电

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.3 & 0.4 & 0.3 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2 & 0.7 & 0.1 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

当各个因素的评判矩阵建立完毕之后,用 Matlab 将因素的权重矩阵  $A$  与之相乘得到最终的评判结果,各个处理方法在进行矩阵合成运算之后按上述顺序为列出:

#### 1. 研磨做饲料

[0.13 0.14 0.38 0.26 0.09],取该矩阵中的最大值所对应的评判等级作为最终结果,可以看出最大值为 0.38 对应评判等级为中等。

#### 2. 降解做菌种

[0.2 0.28 0.23 0.28 0.06],按上述方法,可以看出最大值对应的评判等级为较差。

#### 3. 提取纤维素制环保品

[0.37 0.32 0.07 0.18 0.06],可以看出最大值对应的评判等级为优秀。

#### 4. 制沼气

[0.69 0.24 0.07 0 0],可以看出最大值对应的评判等级为优秀。

#### 5. 生物质发电

[0.55 0.14 0.09 0.15 0.07],可以看出最大值对应的评判等级为优秀。

## 附录四：程序

### 程序一：GM(1, 1)灰色预测

```
Function []=greymodel(y)
% 本程序主要用来计算根据灰色理论建立的模型的预测值。
% 应用的数学模型是 GM(1,1)。
% 原始数据的处理方法是一次累加法。
y=input('请输入数据 ');
n=length(y);
yy=ones(n,1);
yy(1)=y(1);
for i=2:n
    yy(i)=yy(i-1)+y(i);
end
B=ones(n-1,2);
for i=1:(n-1)
    B(i,1)=-(yy(i)+yy(i+1))/2;
    B(i,2)=1;
end
BT=B';
for j=1:n-1
    YN(j)=y(j+1);
end
YN=YN';
A=inv(BT*B)*BT*YN;
a=A(1);
u=A(2);
t=u/a;
i=1:n+2;
yys(i+1)=(y(1)-t).exp(-a.*i)+t;
yys(1)=y(1);
for j=n+2:-1:2
    ys(j)=yys(j)-yys(j-1);
end
x=1:n;
xs=2:n+2;
yn=ys(2:n+2);
plot(x,y,'^r',xs,yn,'*-b');
det=0;

suml=0;
sumpe=0;
for i=1:n
    sumpe=sumpe+y(i);
```

```

end
pe=sumpe/n;
for i=1:n;
    sum1=sum1+(y(i)-pe).^2;
end
s1=sqrt(sum1/n);
sumce=0;
for i=2:n
    sumce=sumce+(y(i)-yn(i));
end
ce=sumce/(n-1);
sum2=0;
for i=2:n;
    sum2=sum2+(y(i)-yn(i)-ce).^2;
end
s2=sqrt(sum2/(n-1));
c=(s2)/(s1);
disp(['后验差比值为: ',num2str(c)]);
if c<0.35
    disp('系统预测精度好')
else if c<0.5
    disp('系统预测精度合格')
    else if c<0.65
        disp('系统预测精度勉强')
    else
        disp('系统预测精度不合格')
    end
end
end

disp(['下个拟合值为 ',num2str(ys(n+1))]);
disp(['再下个拟合值为',num2str(ys(n+2))]);

```

## 程序二：二次平动时间序列预测

```

close all;
clear all;
clc;
clear all;
clc
X=[2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017];
Y=[3796 3972 4057 4225 4448 4537 4593];
P=polyfit(X,Y,4);
Y5=polyval(P,X);
P5=vpa(poly2sym(Y5),4)

```

```

figure;
plot(X,Y,'bo');
hold on;
plot(X,Y5,'r:');
legend('原始数据','6 阶多项式拟合');
xlabel('年');
ylabel('绿化面积'); [3796 3972 4057 4225 4448 4537 4593];
x1=x1';
for i=1:5
    m1(i+2)=(x1(i)+x1(i+1)+x1(i+2))/3;
end
for i=3:5
    m2(i+2)=(m1(i)+m1(i+1)+m1(i+2))/3;
end
m1=m1';
m2=m2';
a=2*m1-m2;
b=m1-m2;
for i=1:2
    y(:,i)=a(7,1)+b(7,1)*i;
end
y

```

## 附录五：焦作市区近年来绿化数据统计表

焦作市区 2011—2017 年绿化指标一览表（部分）

统计年份	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
绿地总面积	3320	3433	3522	3678	3860	3936	4012
绿地覆盖面积	3796	3927	4057	4225	4448	4537	4593
绿地率	34.34%	33.8%	34.55%	34.7%	34.72%	34.74%	35.42%
绿化覆盖率	39.26%	38.66%	39.8%	39.86%	40.01%	40.05%	40.54%

注：面积单位为平方千米

## 附录六：调研访谈照片

### （一）、访问校园后勤部工人





## （二）、焦作市园林局



### (三)、实地访谈环卫工人





#### （四）、实地调查市民对落叶回收再利用的意愿度

