

# 基于ANP的生物质发电燃料收储模式评价模型

檀勤良，苗新燕，张充，王婷然，祝君

(华北电力大学，北京102206)

**摘要：**现阶段生物质电厂燃料收储存在3种主要模式，该评价以收储的各个阶段为基础，建立生物质发电燃料收储模式的综合评价指标体系；并应用网络层次分析法，建立生物质发电燃料收储模式的评价模型，对现有的3种主要收储模式进行评价；通过实例计算结果显示，农户+中间商+第三方物流+电厂的收储模式最为合理。计算表明该评价模型是有效的，通过分析结果提出3点建议，旨在帮助电厂选择适当的燃料收储模式，修正现有模式中的不足。

20世纪以来，能源与环境问题日益凸显，寻求有效的替代能源是解决全球变暖等环境问题、缓解化石能源压力、保障能源安全与经济发展的重要举措，生物质能源具有低碳排放、可再生等特点，因此在各国得到了大力推广。我国作为农业大国，在利用生物质资源方面有很大的发展潜力，据估计，我国每年各种农作物可产秸秆约8.7亿t，折合约4.4亿t标准煤。我国生物质发电从2005年起迈开了实质性的步伐，到2015年年底，生物质发电装机达到1031万kW，发电量527亿kW·h，占全部发电量的0.9%。但是，随着生物质电厂的运营，也反映出一个重要问题：大多数生物质电厂很难盈利。

通过文献分析和实地调研发现，制约当前生物质电厂发电量与效益的主要因素为燃料，在发电成本中，燃料成本占60%-70%。因此，降低燃料成本是提高生物质电厂效益的重点；而燃料成本主要关系到收集、存储及运输三个环节，不同收储模式下燃料的成本不尽相同。本文对燃料收储模式的综合评价可以帮助生物质电厂根据实际情况选择适合自己的收储模式，修正现有收储模式中的问题，从而提高燃料的量与质，对电厂与当地新能源的发展都有促进作用。

国内外学者就生物质发电开展了大量的研究，在已有的研究文献中，高立j指出生物质发电效益不佳的一个重要问题即发电成本偏高。发电成本偏高主要体现在燃料的供应方面，王贤华等对生物质能源供应体系进行系统分析，发现“点—中—心”模式比农户与电厂构成的“点—心”模式具有更好的经济性与实用性。shahab Sokhansania等描述了一个动态生物质供应和物流模型框架，模拟了生物质收集、存储与运输的过程。王燕指出，生物质燃料秸秆的供应主要受制于广大农户与中间供应商，并分析了农户+中间商+电厂模式下，电厂对中间商收购价格的激励作用。

网络层次分析法(ANP)是一种基于层次分析法的更实用的决策科学方法，主要针对决策问题结构具有依赖性和反馈性的情况。贺纯等对网络层次分析法的原理及不断改进与发展的历程进行了详细的论述；刘睿等从应用的角度，对ANP软件Super Decisions进行了详细介绍，并利用该软件对水利水电项目进行评价。近几年网络层次分析法的应用变得更为广泛，刘惠萍、孙宏才、钱明霞H、张苑秋等利用网络层次分析法对各种项目进行评估，其应用广泛覆盖政府、企业与居民生活。网络层次分析法还可与其他方法相结合，周黎莎等将ANP与模糊评价结合，对电力客户满意度进行评价；周荣喜等将ANP与人工神经网络相结合，对化工行业绿色供应商进行选择；唐丽艳等利用DEMATEL-ANP，对企业产学研集成创新进行研究。通过对已有文献的阅读与分析，结合收储系统各因素间的相关性发现，网络层次分析法元素间相关性与反馈性的特点比较适合生物质电厂燃料收储模式评价研究，在该领域也鲜有文献，因此，我们选用网络层次分析法来评价生物质电厂燃料收储系统。

本文以实地调研的情况为基础，对现阶段生物质发电存在的3种主要收储模式进行评价；从收集、运输、存储和整体性4个方面，对15个评价指标进行分析，应用网络层次分析法，对各个指标集、指标进行重要性评价，计算获得各个指标的权重，从而计算各收储模式的综合评价价值。

## 1我国生物质发电燃料收储模式

生物质电厂燃料收储是生物质燃料收集、运输、存储并运送至电厂的过程，其中主要涉及4个主体：农户、电厂、中间商和第三方物流。农户种植农作物，收获后得到秸秆等生物质资源并售卖，是生物质燃料的重要来源之一；电厂收购燃料并燃烧发电；中间商是随着收储系统的发展而出现的，他们从农户、木材厂、粮食加工厂等地收集燃料，经过处理出售担运输工作的企业。这4个主体组合形成了燃料收储的3种模式：农户+电厂模式；农户+中间商+电厂模式；农户+中间商+第三方物流+电厂模式。

模式一：农户+电厂模式，即农户自行收集秸秆并送至电厂。在这种模式下，农户收集的积极性不高，秸秆收集量较低，农户大多采用秸秆直接还田的方法；而电厂直接与农户交易，工作量大，成本高，且比较繁琐，不利于燃料的管理。

模式二：农户+中间商+电厂模式，即由中间商从农户手中收购秸秆，然后统一进行存储及处理，再经打包出售给电厂。由于中间商的调动，农户收集积极性有所提高，收集量比模式一多约34%，秸秆焚烧现象也有所减少，但在运输方面大多是自己运输，投入成本高，且需要大量工作来协调运输量与运输频率；电厂方面减少了对燃料处理的工作，更有利于质量控制。

模式三：农户+中间商+第三方物流+电厂模式，即在模式二的基础上，由第三方物流负责燃料运输。在这种模式下，农户的积极性与收集量都有很大改善，基本无秸秆焚烧现象，第三方物流的介入，使运输成本下降，并且各方分工明确，工作效率高；但同时也存在问题，由于参与方多，各方之间的协调工作增多，容易在沟通过程出现问题；各方之间需要利用合同加以约束。

## 2 生物质发电燃料收储模式综合评价指标体系

综合评价指标体系构建要遵循全面性、科学性、层次性、可比性和可操作性等原则。考虑到评价的全面性，因此选择对收储系统进行分阶段评价，以涵盖收储系统的各个阶段、各个环节。基于科学性原则，我们实地走访燃料收储的各利益方，了解他们对收储模式的要求与期望，收集真实的数据，从而依据实际对生物质发电厂燃料收储的3种不同模式进行评价。为了兼顾层次性、可比性与可操作性，我们根据实地调研和对行业内的专业人士进行采访，并结合国内外相关文献资料，设计了生物质电厂燃料收储系统的综合评价指标，为4个一级指标：收集指标、运输指标、存储指标和整体性指标，再对各个一级指标有针对性地进行构建二级指标进行评价。

综合上述考虑因素，建立生物质发电厂燃料收储给生物质电厂，以从中获取利润；第三方物流是承储系统综合评价指标体系如表1所示。

表 1 生物质电厂燃料收储系统综合评价指标体系

一级指标	二级指标	指标属性	说明
收集指标	C1 收集量	定量, 极大化	以含水率 3% 为基准 $h$
	C2 收集范围	定量, 中间值	收集半径 $k$ km
	C3 收集成本	定量, 极小化	每吨的收集成本 / 元
	C4 收集效率	定量, 极小化	收获至燃料收集完成所用时间 $d$
	C5 农户响应	定性, 极大化	农户对秸秆收集的配合程度
运输指标	C6 运输单位成本	定量, 极小化	每吨燃料的运输费用 / 元
	C7 运输损耗	定性, 极小化	运输过程中燃料的损耗情况
	C8 运输速度	定量, 极大化	运输过程的平均速度 / ( km/h )
存储指标	C9 库存单位成本	定量, 极小化	每吨燃料的库存费用, 建设仓库的费用按照折旧均摊到每一年的燃料中 / 元
	C10 库存损耗	定性, 极小化	库存中燃料的损耗情况
	C11 库存容量	定量, 中间值	库存的大小 $h$
整体性指标	C12 协同度	定性, 极大化	燃料调度过程中各主体间的协调程度
	C13 稳定性	定性, 极大化	衡量系统出现问题后恢复情况
	C14 信息化程度	定性, 极大化	信息网络构建情况, 信息传递效率
	C15 契约限制	定性, 极大化	各主体间合同约束情况

## 3 生物质发电厂燃料收储系统评价模型构建

### 3.1 网络层次分析法方法原理

网络层次分析法是在层次分析法基础之上发展形成的一种实用的决策方法，尤其适用于内部存在依存和反馈关系的复杂决策系统。网络层次分析法中的元素分为两大部分，第一部分为控制层，即问题目标及决策准则；第二部分为网络层，即所有受控制层支配的元素组成的复杂的相互影响的网络结构。如图1所示。

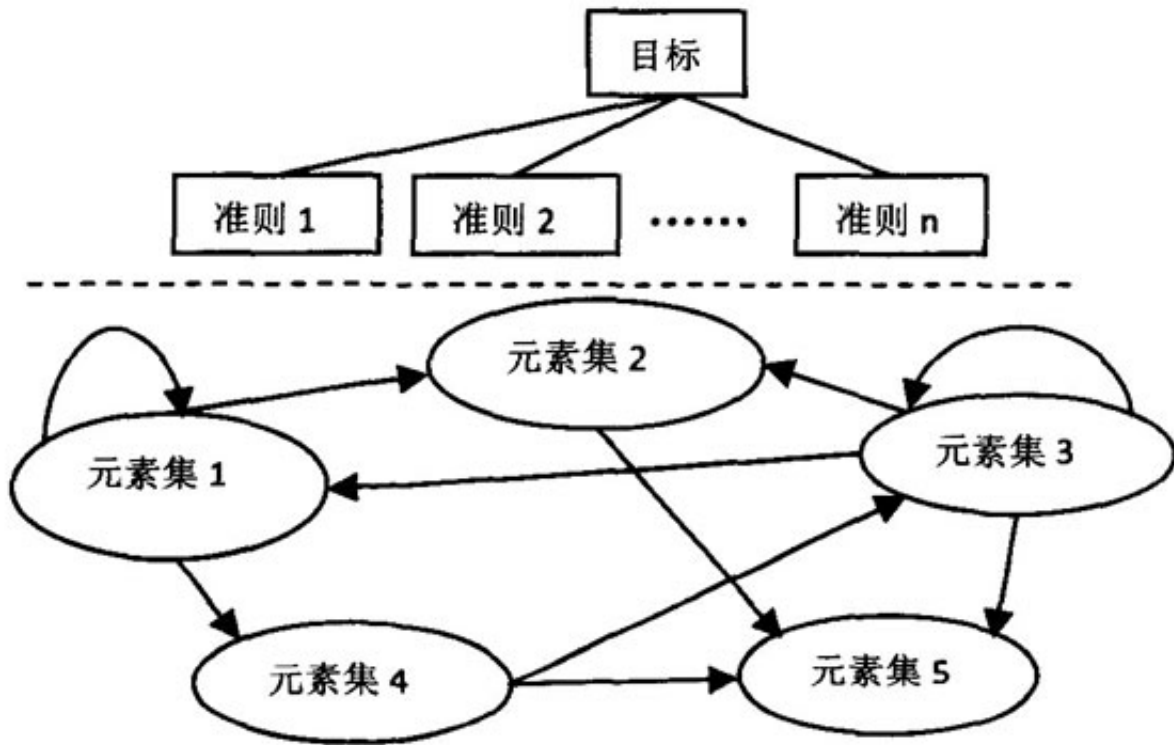


图 1 网络层次分析法结构



确定元素之间的依赖反馈关系之后，我们便可以依据它们之间的关系构造 ANP 矩阵。设 ANP 控制层中有元素  $A_1, A_2, \dots, A_m$ ，网络层有元素集  $E_1, E_2, \dots, E_m$ ，其中， $E_i$  中有  $e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{in}$ ，( $i = 1, 2, \dots, n$ )。以控制层元素  $A_s (s = 1, 2, \dots, m)$  为准则，以  $E_i$  中元素  $e_{ij} (l = 1, 2, \dots, l)$  为次准则，元素集中元素按其对于  $e_{ij}$  的影响力大小进行两两比较分析，即得到判断矩阵  $W_s$ 。然后由特征根法得到排序向量  $(w_{i1}^{jl}, w_{i2}^{jl}, \dots, w_{in}^{jl})^T$ ，根据一致性检验，如果上述特征向量满足相容性条件，则为网络元素排序向量，把所有的网络元素排序向量构造一个矩阵，记为  $W_{ij}$ 。

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} w_{i1}^{(j1)} & w_{i1}^{(j2)} & \dots & w_{i1}^{(jn_j)} \\ w_{i2}^{(j1)} & w_{i2}^{(j2)} & \dots & w_{i2}^{(jn_j)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{in_i}^{(j1)} & w_{in_i}^{(j2)} & \dots & w_{in_i}^{(jn_j)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$W_{ij}$  的列向量就是  $E_i$  中元素  $e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{in_i}, \dots$ ，对  $E_j$  中元素的影响程度排列向量，若为  $E_i$  中元素，则  $W_{ij} = 0$ ，最终可获得在  $A_s$  准则下的超矩阵：

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1m} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{m1} & W_{m2} & \dots & W_{mm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

矩阵的每一元素都是一个矩阵，列和为 1，但  $W$  不是归一化矩阵，其子块  $W_{ij}$  是归一化矩阵。为了计算方便，我们需要把超矩阵归一化，得到加权超矩阵。

为了反映元素之间的依存关系，超矩阵  $W$  需要做一个稳定处理。即计算每个超矩阵的极限相对排序向量  $\lim_{k \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{m}\right) \sum_{k=1}^m W^k$ ，如果这个极限收敛且唯一，则原矩阵对应行的各值为各评价指标的稳定权重。

### 3.2模型构建

由于供应链系统各个指标之间具有相互影响的复杂关系，因此，在应用网络层次分析法进行评价檀勤良等：基于ANP的生物质发电燃料收储模式评价模型时要充分考虑指标之间的相互关系。根据各指标因素的影响与被影响关系，我们对各指标之间的关系进行了整理。由于各个因素对3种模式均有影响，因此在图2中并未体现对模式影响的部分；在图2中，箭头指向被影响的因素。影响关系如图2所示。

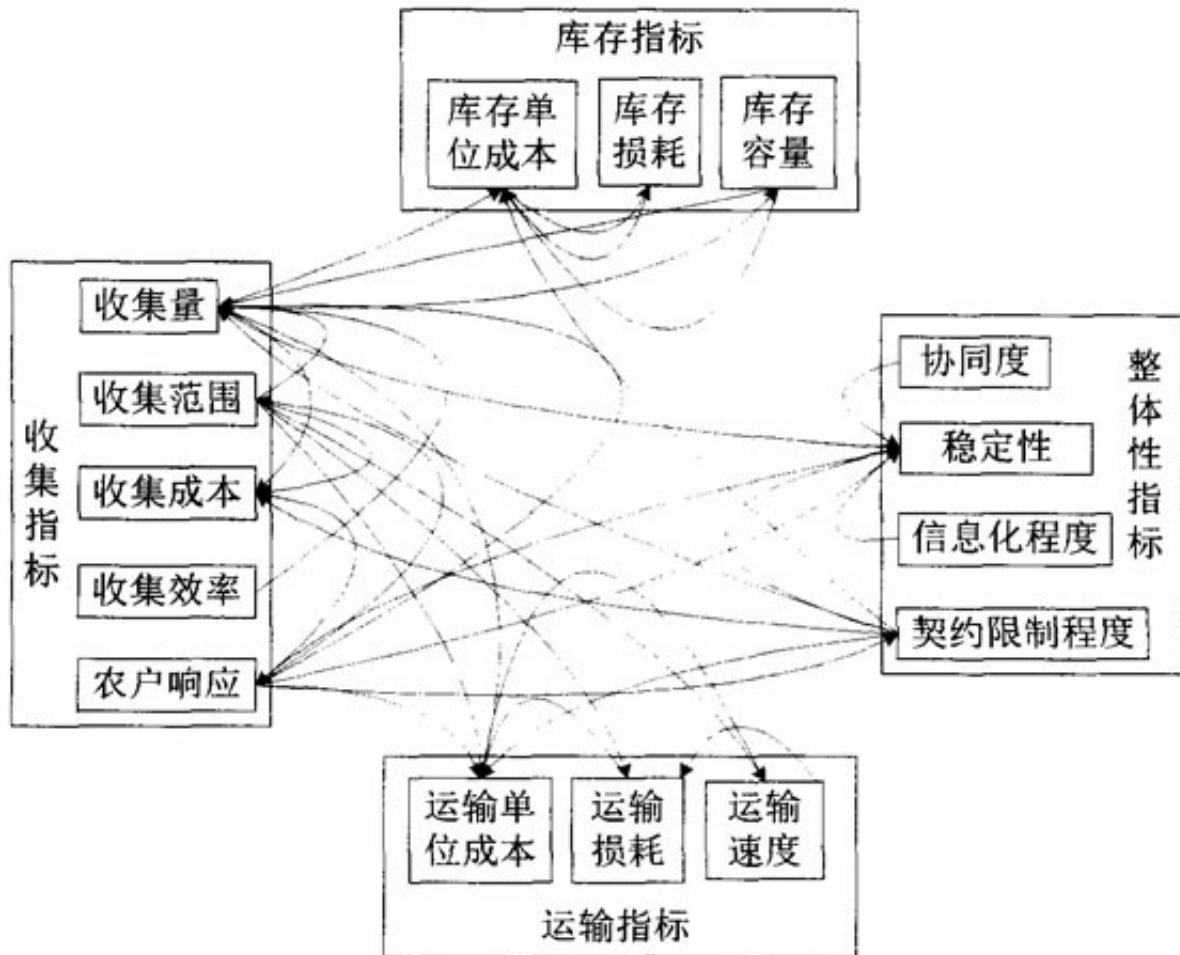


图2 生物质供应链模式综合评价指标中各元素之间的关系图

### 4算例

#### 4.1数据情况

山东省是农业大省，我国第一个生物质电厂——单县生物质电厂就位于山东省，本课题组依托国家自然科学基金项目，在2015年年底走访了山东省5个生物质电厂，实地了解了电厂燃料的收储情况，收集到了大量数据。在对山东省生物质电厂的走访中，我们经过研究分析与筛选，选择了3个燃料收储系统比较典型的电厂作为数据的来源。为减少其他因素对收储系统的影响，所选电厂装机容量均为30MW，锅炉规格均为130t/h生物质专用振动炉排高温高压锅炉，采用比较普遍的直燃发电技术。为确保数据真实有效，定量数据均采用调研过程中获取的数据；定性数据的获取，我们邀请了收储系统各方主体、高校专家、研究所研究人员等，通过发放调查问卷以及深度访谈收集数据。问卷为打分方式，对各个电厂模式的各个指标进行评分，采用1—10的标准，1代表非常差，10代表非常好，中间数值按程度等差排列。我们总共发放纸质与电子版问卷共87份，收回访谈结果及有效问卷共75份，其中电厂16份、中间商13份、物流公司11份、农户12份、高校专家15份、研究人员7份。对问卷数据进行整理与计算调整，对各指标值进行一致化与归一化处理，得到数据如表2所示。

**表 2 生物质发电燃料收储系统评价指标数据**

一级指标	二级指标	模式一	模式二	模式三
收集指标	C1 收集量	0.24	0.34	0.41
	C2 收集范围	0.29	0.38	0.33
	C3 收集成本	0.44	0.28	0.28
	C4 收集效率（时间尺度）	0.21	0.32	0.47
	C5 农户响应	0.25	0.35	0.40
运输指标	C6 运输单位成本	0.14	0.29	0.57
	C7 运输损耗	0.27	0.32	0.41
	C8 运输速度	0.17	0.30	0.52
存储指标	C9 库存单位成本	0.37	0.29	0.34
	C10 库存损耗	0.20	0.33	0.47
	C11 库存容量	0.11	0.44	0.44
整体性指标	C12 协同度	0.31	0.36	0.33
	C13 稳定性	0.25	0.40	0.35
	C14 信息化程度	0.14	0.36	0.50
	C15 契约限制	0.21	0.36	0.43

将数据进行一致化与归一化处理后，数值越高表示在该指标所描述的情况越好。可以发现，在3种模式中，模式一各类成本指标均较高，收集量、收集范围、收集效率、农户响应、运输及存储损耗和整体性均比较差；模式二收集范围最广，协同度与稳定性最好，收集量、收集成本、收集效率、运输及库存损耗、速度和信息化程度都有所改善，库存成本较高；模式三收集范围、协同度、稳定性略次于模式二，收集量、收集成本、收集效率、农户响应、运输成本、各类损耗及信息化程度、契约限制在3种模式中均为最优。

#### 4.2 计算各指标权重

根据以上的调研情况，对元素集之间、有影响关系的元素之间的重要关系有了比较清楚的认识，以此为基础进行元素间的重要性比较，便可以得到判断矩阵。Super Decisions软件提供一种提问方式进行评价，共有9个评价指标度，表3给出了评价指标度的具体含义。



**表 3 对比评价指标度含义**

指标度	指标度含义
1	两个元素具有同等的重要性
3	比另一元素稍微重要
5	比另一元素明显地重要
7	比另一元素强烈地重要
9	比另一元素极其地重要
2, 4, 6, 8	介于上述描述的中间值

根据调研走访电厂、农户、运输商以及收购点的情况，对存在相关性的元素之间的比较按照上述重要性程度关系进行赋值。每一组比较完成后进行一致性检验，若一致性检验的值小于0.1，则认为重要性判断合理。在全部赋值完之后，Super Decisions便可以计算出该模型的加权超矩阵、极限矩阵。计算得出的极限矩阵收敛且唯一，因此矩阵对应的值即为各评价指标的稳定权重，如表4所示。

**表 4 指标因素权重表**

指标值	权重	指标值	权重	指标值	权重
模式一	0.043	C4	0.042	C10	0.039
模式二	0.065	C5	0.027	C11	0.023
模式三	0.090	C6	0.170	C12	0.021
C1	0.056	C7	0.091	C13	0.075
C2	0.026	C8	0.022	C14	0.032
C3	0.115	C9	0.039	C15	0.024

#### 4.3结果及分析

最终，根据权重与计算，Super Decisions软件得出结果如表4、表5所示。

**表 5 Super Decisions 软件输出结果**

模式	原始值	理想值	归一化值
模式一	0.043 3	0.480 6	0.217 9
模式二	0.065 4	0.725 5	0.328 9
模式三	0.090 1	1.000 0	0.453 3

根据表4与表5的结果，我们可以分析得出以下4个结论：

- (1)基于ANP的生物质电厂燃料收储系统评价模型设计合理，进一步丰富了生物质电厂燃料收储这一研究领域，利用ANP评价生物质电厂燃料收储系统属首例，具有一定的优越性，评价结果对今后研究有一定的指导作用。
- (2)根据表5的结果，模式三(农户+中间商+第三方物流+电厂)为最优。结合数据与现实情况分析，可能有以下几点原因：1)中间商加入系统打破单独农户送燃料至电厂的局面，降低农户与电厂的交易成本，提高了农户的积极性；2)第三方物流降低了中间商的初始资金投入量，与自营运输相比成本低、效率高；3)由不同的参与方分管不同的部分，

使整个运作过程及管理工作更加专业化、更加高效。

(3)由表4的指标权重值我们可以发现，指标C6运输成本的权重最高，达到0.17，说明在收储系统中存在的一个较为普遍的问题：运输成本高。究其原因，可能有以下几点：1)农户负责运输，运输量小，而人力、物力投入较大；2)中间商负责运输，初始投资较高，而且中间商需负担人力、调度等情况，导致运输成本高；3)正规第三方物流公司数量较少，也导致运输费用被抬高。

(4)表4中另外一个权重较高的指标为C3收集成本，可见在生物质发电燃料收储过程中另一个问题是收集成本过高。可能的原因如下：1)农户自己收集、运输成本过高，因此提高了收集价格；2)中间商需赚取利润，投入资金多，使收集成本提高；3)不同主体都需提高价格以获取利润，导致收集成本高。

## 5结论及建议

通过应用分析及计算，并结合计算结果可以表明，该生物质电厂燃料收储系统评价模型比较合理，可以完整地评价收储系统各个环节、各个主体的情况；其计算结果对生物质电厂完善收储系统、解决存在问题、提高电厂效益有很大的指导作用。其次，根据对实例的分析计算发现，生物质发电燃料收储系统还有待继续完善，应加入中间商与第三方物流，以提高收储系统的效率；要提高收储系统的信息化程度与契约规范程度，打破参与方之间信息不对称的情况，提高系统的协同度与稳定性。

基于分析的数据情况及问题，我们给出如下建议：(1)政府扶持生物质产业，在对电厂提供财政补贴之外，鼓励农户或农村组织作为中间商组织秸秆等燃料的收集与销售，举办讲座、发放宣传资料等，调动农户的积极性；(2)在收储系统内部，要建立一套完善的燃料质量、价格体系，规范农户、中间商的燃料处理过程，控制燃料质量，减少电厂的二次处理费用；(3)收集范围、收集量与物流方式的选择有着密切的关系；政府也应适当规范第三方物流企业，以免出现物流公司哄抬价格的情况，以达到降低运输成本的目的。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/159484.html>