

基于秸秆生物质资源的户用沼气区域风险研究

侯 刚^{1a,2}, 李轶冰^{1b,2}, 杨改河^{1b,2}

(1 西北农林科技大学 a. 资源环境学院, b. 农学院, 陕西 杨凌 712100;

2 陕西省循环农业工程技术中心, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】运用风险评价手段,对我国农村基于秸秆生物质资源的户用沼气进行区域风险评价,为户用沼气的合理布局提供科学依据。【方法】在综合分析产业发展风险因子的基础上,运用层次分析法和多目标线性加权函数法,从原料供应、温度保障、社会经济、制度技术 4 个风险层面,共选取了秸秆资源总量、秸秆产量平均增长率、平均气温、农户人均年收入、15 岁以上人口文盲率和制度技术进步水平等 6 个指标,建立了基于秸秆生物质资源的中国户用沼气区域风险评价指标体系和评价模型。【结果】我国各省区在各个风险层面差异较大,综合风险较高的是青海、甘肃、西藏、宁夏、新疆等农业生产水平落后的省份及北京、天津、上海、浙江等东部经济发达省份;综合风险较小的是河南、山东、四川、河北、湖南、广西、湖北、吉林、江苏、辽宁等传统农业省份;其他省份发展农村户用沼气的风险水平一般。【结论】按照一定的分级区划标准制备的全国户用沼气风险图,可以为相关决策部门提供较为科学和直观的理论指导。

【关键词】 生物质能;秸秆;户用沼气;区域风险评价

【中图分类号】 S216.2

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)09-0139-10

Research on the regional risk of household biogas in rural areas of China based on crop straw resources

HOU Gang^{1a,2}, LI Yi-bing^{1b,2}, YANG Gai-he^{1b,2}

(1 a. College of Resources and Environmental Sciences, b. College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 The Research Center of Recycle Agricultural Engineering and Technology of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The purpose of this research is to provide guidelines to the reasonable distribution of household biogas in rural areas of China. 【Method】 Based on the comprehensive analysis of risky factors of household biogas in China, six evaluation indexes of actual crop straw resource amount, annual increase rate of crop straw resource, average annual temperature, per capital income of rural household, illiteracy rate of population above 15 and biomass concentration rate, which belong to four risk levels including resource supply risk, temperature guarantee risk, social and economic risk and support & technology risk, were selected to construct the index system and evaluation model. 【Result】 The results indicated that there was a great regional risk difference of household biogas in rural areas of China, traditional agricultural regions such as Henan, Shandong, Sichuan, Hebei and Hunan were much more suitable for household biogas development than that in Qinghai, Beijing, Gansu, Tibet and Shanghai, which commonly had a very low crop straw resources supply level. 【Conclusion】 According to certain dividing standards, the risk map was made in order to intuitively reflect the regional risk of household biogas and to provide some theoretical guidelines for the decision-making apartments.

* [收稿日期] 2009-05-02

[基金项目] 国家自然科学基金项目“中国农村户用沼气区域适应性评价”(30700482)

[作者简介] 侯 刚(1981—),男,河南禹州人,在读博士,主要从事可再生能源的开发利用研究。

[通信作者] 李轶冰(1977—),女,河南鹤壁人,博士,讲师,主要从事生态农业与循环农业技术研究。

Key words: biomass energy; crop straw resources; household biogas; regional risk evaluation

生物质能在解决目前世界经济面临的能源紧缺和环境危机 2 大主要问题中占有重要地位,在所有新能源当中,生物质能源是最安全、最稳定的能源,也是全世界重点鼓励发展的新能源,2006 年全球可再生能源利用总量的 1/2 以上为生物质能,占一次能源总量的 14%^[1]。农作物秸秆是一种富含有机质(80%~90%)的生物质能源,同时也具有 CO₂ 零排放的特征,市场前景非常广阔^[2]。我国农作物秸秆资源每年约为 7 亿 t,占有所有生物质资源的 50%,除了少部分用于还田造肥、畜禽饲料和工业原料之外,相当一部分秸秆被用作燃料或者就地焚烧,既浪费了资源,又造成了严重的环境污染^[3],而这部分秸秆可以通过沼气发酵工程,在厌氧微生物作用下产生一种可以替代化石能源的清洁能源——沼气。美国、希腊、瑞典以及一些发展中国家均对秸秆作为沼气原料生产生物质能进行了大量研究^[4],我国也从 20 世纪 60 年代开始将秸秆作为一种主要的发酵原料用于沼气工程实践。随着秸秆产沼气技术体系的不断完善和新农村建设活动的开展,充分利用秸秆资源必然成为我国生物质能源的发展方向。

当前,国内外对秸秆产沼气的研究多集中在技术体系、经济性分析以及政策法规保障等方面^[4-10],而较少考虑到其开发利用过程中必然存在的区域风险问题。沼气是一种比较特殊的新能源,其生产受一定的自然条件和社会经济要素限制,尤其是户用沼气工程,容量小、产气率低,并不一定适合在所有地区推广应用。因此,本研究在综合分析农村户用沼气发展限制因子的基础上,构建风险评价模型,对我国各省区的户用沼气产业进行风险评价,旨在为保障农村能源安全、科学合理地利用资源及促进农村和农业的可持续发展提供参考。

1 致险因子分析

区域风险评价是为了衡量某项自然或人为活动在特定区域条件下发生损害的可能性以及损害的严重程度而做出的结论性评价,评价时首先要对能够产生风险的因素即致险因子,做出科学的判定和分析。笔者结合汪海波等^[11]、邱凌等^[12]的研究结果,认为户用沼气区域风险因子主要集中在原料供应、温度保障、社会经济及制度技术等 4 个方面。

1.1 原料供应风险

原料供应风险是指由发酵原料供应不足或者不

稳定而产生的风险,是衡量户用沼气风险的首要指标。秸秆是农业活动的副产品,我国主要的农作物种类有稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、油料、棉花和甘蔗等,不同作物生产秸秆的能力差异很大。我国各省区农作物种植结构和耕地资源差异显著,河南、山东、黑龙江、吉林和四川等农业大省秸秆资源充足;而东部沿海等乡镇企业发达地区和西北非农业区秸秆资源相对较少^[13]。另外,秸秆资源的供应会受到由自然气候条件变化和人类社会发展所造成的粮食产量波动的影响^[14],比如自然灾害造成的粮食减产,以及部分地区城市化速度加快和产业结构调整带来的农作物种植面积减小等,最终造成各省区之间秸秆资源的产出、供给和利用存在显著差异。从长远来看,原料供应必将对区域户用沼气产业的发展造成一定的风险。

1.2 温度保障风险

与秸秆发电等资源利用方式不同,户用沼气生产对自然条件有一定依赖性,最主要的就是适宜的发酵温度,温度适宜则细菌繁殖旺盛,活力强,厌氧分解和生成甲烷的速度就快。有研究表明,在 10~60 ℃,沼气发酵装置均能发酵产气,低于 10 ℃或者高于 60 ℃均会抑制微生物的生长和繁殖,影响产气^[15]。通常把发酵温度分为 3 个范围:46~60 ℃(高温发酵),26~46 ℃(中温发酵),10~26 ℃(常温发酵)。常温发酵虽然范围较广,但在 10~26 ℃,温度越高,产气效果越好。户用沼气由于规模、资金和技术原因,一般均采用自然温度发酵,所以产气量随季节变化较大,1~2 月份产气量最低,7~8 月份最高。我国幅员辽阔,气候复杂多样,覆盖了寒温带、温带、暖温带、亚热带、热带和赤道带等 6 个热量带,此外还包括一个特殊的青藏高原寒区^[16]。因此,在户用沼气区域风险研究中必须把温度作为重要因素之一加以考虑。

1.3 社会经济风险

除自然环境条件限制以外,户用沼气的推广普及在一定程度上受区域社会经济条件的制约^[11]。一方面,在经济落后地区,即使一次性建设成本已大幅降低,相当一部分农户仍然不能自筹资金进行沼气生产,往往还需要地方政府的经济支持;另一方面,在经济发达地区,富裕起来的农民多追求便利清洁的能源消费方式,出现了商品能源替代生物质能的现象。因此,区域经济发展水平很高或者很低均

会阻碍户用沼气的推广应用。另外,由于自身生活观念落后和文化水平不高,很多农户仅仅把沼气建设看成是解决能源问题的一条捷径,而对沼气在开展沼气综合利用、促进种养业发展、建设生态家园和生态农业模式等方面的意义认识不够深入,未能发挥出户用沼气建设的综合效益,已有户用沼气工程的农户在遇到技术问题时往往需要专业技术人员的帮助。所以,加强农户专业技术培训也是促进户用沼气推广亟需解决的问题之一,农户受教育程度越高,对户用沼气技术接受程度和掌握能力也越高。

1.4 制度技术风险

农村地区沼气工程是国家重点支持和扶持的能源项目,在《中华人民共和国可再生能源法》农村沼气建设国债项目管理办法(试行)中都有相关规定,表现为国家、省、市(区)机构设置健全、人员充足、经费到位^[17]。然而由于缺乏稳定、持续的项目扶持政策,户用沼气的发展缺乏连续性。技术方面,秸秆发酵可以分为原料预处理、反应器结构、反应器

接种、发酵条件控制和发酵过程等相互分离的 5 个环节,任何一个环节都会对最终的产气率产生影响^[4]。虽然秸秆沼气发酵技术已经日趋完善,但仍处在快速发展期,技术设备更新换代较快,区域间存在较大差异。随着制度的完善和技术水平的提高,沼气发酵制度技术风险将会大大降低。

2 评价指标体系及模型的构建

2.1 指标体系的构建

户用沼气风险来源多样,涉及自然、生态、社会、经济等各个方面,是一个复杂的多因素复合体,其评价指标体系的好坏直接关系到评价结果的准确性和科学性。在综合考虑各个致险因素的基础上,遵循显著性、主导性、定性与定量相结合、易获取性和可操作性等原则^[18],本研究建立了基于秸秆生物质资源的中国户用沼气区域风险评价指标体系(图 1),具体指标解释如下。

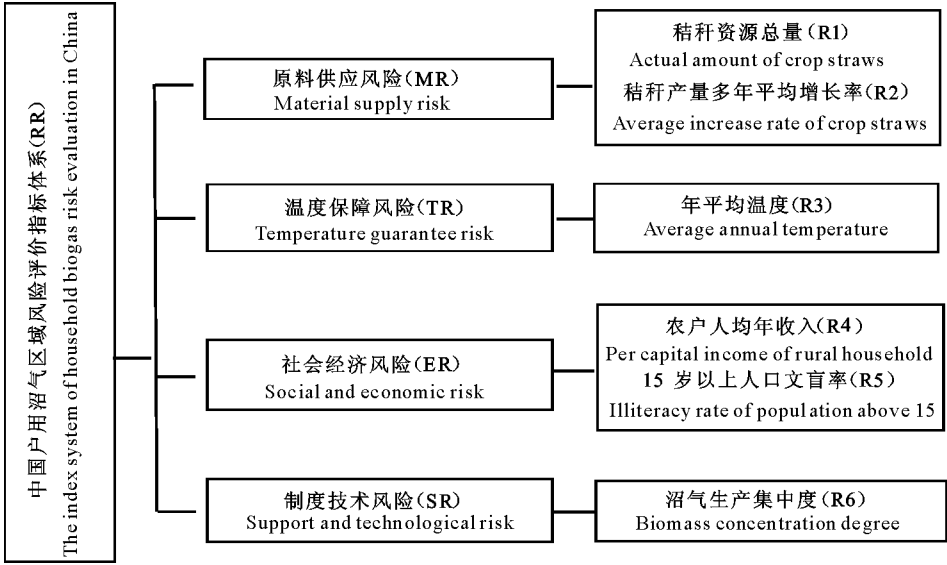


图 1 中国户用沼气区域风险评价指标体系

Fig.1 Index system of household biogas regional risk evaluation in China

(1)原料供应风险。选择秸秆资源总量和秸秆产量多年平均增长率两个指标,分别反映区域当前的秸秆资源供应能力和秸秆资源供应对沼气产业发展的长期效应。由于秸秆产量未列入国家有关部门的统计范围,通常依据主要农作物的产量来计算,计算公式如下:

$$T=\sum_{i=1}^nQc_i r_i。(1)$$

式中: T 为农作物秸秆产量, Qc_i 为第*i*类农作物的产量, r_i 为第*i*类农作物的草谷比系数(Residue to product ratio,RPR)。RPR 也称为产量系数或者经济系数,是农作物秸秆产量估算的关键因素,通常是一个可以通过田间试验和观测得到的常数。不同地区、不同品种的农作物 RPR 略有差异,在估算我国秸秆资源量时,不同学者采用的 RPR 不一致^[4,14,19-21],本研究选取的 RPR 见表 1。

(2)温度保障风险。选择最能反映区域沼气发酵适宜程度的年平均气温作为评价指标,如前所述,我国户用沼气属于常温发酵,年平均气温越高产气效果越好,相应的温度保障风险也就越小。

(3)社会经济风险。选择农户人均年收入和 15 岁以上人口文盲率 2 个指标,分别反映区域对户用沼气产业发展的经济支撑程度和接受程度,较高的

人均收入和较低的文盲率是决定户用沼气产业能否建立并得到持续发展的关键。

(4)制度技术风险。制度技术水平是一个定性指标,可以用沼气生产集中度抽象替代。沼气生产集中度是指区域沼气产量占全国沼气总产量的百分比,集中度越高说明区域沼气产业发展的越好,间接反映出区域制度技术水平越高。

表 1 我国主要农作物的 RPR

Table 1 Residue to product ratio of various crops in China

项目 Item	稻谷 Rice	小麦 Wheat	玉米 Corn	豆类 Bean	薯类 Yam	油料 Oil crop	棉花 Cotton	甘蔗 Sugarcane
RPR	0.952	1.280	1.247	1.500	0.500	2.212	3.316	9.978

2.2 指标权重及评分标准的确定

指标权重的分配采用美国著名运筹学家、匹兹堡大学教授沙提于 20 世纪 70 年代初提出的层次分析法 (Analytical hierarchy process, AHP)^[22-23] 进行。AHP 法是一种将定性和定量相结合的、对多目标、多准则、多因素、多层次的复杂问题,进行决策分

析、综合评价的实用而有效的系统分析方法。其基本原理是,将要识别的复杂问题分解成若干层次,由专家和决策者对所列指标两两比较重要程度而逐层进行判断评分,利用计算判断矩阵的特征向量确定下层指标对上层指标的贡献程度,从而得到基层指标对总目标的重要程度(表 2)。

表 2 中国户用沼气区域风险评价指标权重值

Table 2 Index system value of household biogas regional risk evaluation in China

目标层 Target level	权重 Proportion	准则层 Guideline level	权重 Proportion	指标层 Index level	权重 Proportion
RR	1	MR	0.424	R1	0.75
		TR	0.227	R2	0.25
				R3	1
				R4	0.667
		ER	0.227	R5	0.333
		SR	0.122	R6	1

由于各个指标的量纲不同,其评价的标准也不同,为了将各个指标合成综合评价结果,必须将每个指标进行无量纲化处理(即将指标值与其标准值相比较)。各个基本指标按照风险程度可划分为 100, 80, 60, 40, 20 和 0 分 6 个基本评分档次,其中 0 分表示没有风险,20 分表示风险较小,40 分表示风险

一般,60 分表示风险较大,80 分表示风险很大,100 分表示风险最大。参考沼气产业有关发展规律,结合各省区的实际情况,对基于秸秆生物质资源的中国户用沼气区域风险评价指标体系中各个基本指标进行评分,评分标准见表 3。

表 3 中国户用沼气区域风险评价指标评分标准

Table 3 Index system assessment standard of household biogas regional risk evaluation in China

指标 Index	单位 Unit	评分标准 Assessment standard					
		100	80	60	40	20	0
R1	10 ⁴ t	0	1 000	2 000	3 000	4 000	≥5 000
R2	%	≤-4	-2	0	2	4	≥6
R3	℃	≤0	5	10	15	20	≥25
R4	元 Yuan	≤2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500
		≥7 000	6 500	6 000	5 500	5 000	
R5	%	≥25	20	15	10	5	0
R6	%	0	3	6	9	12	≥15

2.3 评价模型

风险评价指标体系中每一单项指标均是从不同侧面来反映区域风险状况的,因而必须进行综合评价。目前,国内对于风险评价指标体系及评价方法

的研究还不成熟,风险测度方法尚不系统,实际操作应用更加困难。在具体方法设计时,既要注重方法的科学性,又要考虑不同类型指标对不同方法的具体要求,从而提高评价结果的准确性、可靠性及实用

性。本研究采用多目标线性加权函数法对中国户用沼气的区域风险进行评价,即上一层指标由其对应的下层指标组计算得到。

$$\vec{A}=\vec{B} \cdot \vec{W}。$$
 (2)

式中: $\vec{A}$ 为上层指标向量值, $\vec{B}$ 为下层指标向量值, $\vec{W}$ 为下层指标权向量值。

3 基于秸秆生物质资源的中国户用沼气风险评价

3.1 数据来源

我国各省区秸秆种类和结构组成差异巨大,但

是稻秆、玉米秆、小麦秆等粮食作物秸秆和油料作物秸秆是最主要的类型,其产量远远高于其他农作物。因此,主要农作物选取稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、油料、棉花、甘蔗,其产量数据来自 1988~2008 年《中国统计年鉴》^[24],其中秸秆资源总量数据采用 2005~2007 年的平均值,秸秆产量增长率取 1988~2008 年的平均值。年平均气温、农户人均年收入和 15 岁以上人口文盲率数据来自 2008 年《中国统计年鉴》^[24];沼气生产集中度数据来自《中国农业统计资料 2008》^[25]。经初级运算,得到基于秸秆生物质资源的中国户用沼气区域风险评价指标值见表 4。

表 4 基于秸秆生物质资源的中国户用沼气区域风险评价指标值
Table 4 Index value of regional risk evaluation of household biogas in China

区 域 Area	R1/10 ⁴ t	R2/%	R3/℃	R4/元	R5/%	R6/%
北京 Beijing	120.0	−2.68	13.2	8 275.47	4.47	0.13
天津 Tianjin	203.8	1.52	12.9	6 227.94	4.10	0.01
河北 Hebei	3 664.9	2.79	14.3	3 801.82	6.42	5.87
山西 Shanxi	1 268.4	2.06	10.9	3 180.92	4.42	0.58
内蒙古 Inner Mongolia	2 082.3	7.46	7.7	3 341.88	9.36	0.15
辽宁 Liaoning	1 979.6	4.35	8.0	4 090.40	4.12	1.26
吉林 Jilin	3 150.4	5.46	10.9	3 641.13	5.21	0.14
黑龙江 Heilongjiang	3 728.2	5.23	5.6	3 552.43	4.97	0.23
上海 Shanghai	119.9	−2.58	17.1	9 138.65	4.92	0
江苏 Jiangsu	3 630.0	0.13	16.3	5 813.23	9.36	1.52
浙江 Zhejiang	920.2	−2.57	17.5	7 334.81	10.20	0.45
安徽 Anhui	3 664.4	1.61	16.2	2 969.08	16.30	1.29
福建 Fujian	692.3	−0.12	20.3	4 834.75	11.31	1.73
江西 Jiangxi	1 854.5	0.91	18.2	3 459.53	9.21	5.76
山东 Shandong	5 767.2	1.56	14.4	4 368.33	9.13	2.08
河南 He’nan	6 769.2	3.56	14.9	3 261.03	8.64	9.05
湖北 Hubei	2 779.8	0.86	17.8	3 419.35	9.83	5.09
湖南 Hu’nan	2 928.7	0.82	17.7	3 389.62	6.52	11.20
广东 Guangdong	1 438.9	−0.77	22.8	5 079.78	5.11	1.04
广西 Guangxi	1 568.2	1.90	21.4	2 770.48	6.01	15.52
海南 Hainan	174.7	−0.05	25.1	3 255.53	9.50	1.72
重庆 Chongqing	1 101.5	0.35	18.6	2 873.83	9.70	2.94
四川 Sichuan	3 535.7	−0.31	16.2	3 002.38	12.56	14.47
贵州 Guizhou	1 316.1	3.96	14.1	1 984.62	18.79	5.15
云南 Yunnan	1 590.1	2.97	16.7	2 250.46	16.50	10.01
西藏 Tibet	54.1	6.56	9.3	2 435.02	45.65	0
陕西 Shaanxi	1 375.0	1.16	15.0	2 260.19	9.35	1.41
甘肃 Gansu	938.8	2.83	7.2	2 134.05	22.27	0.64
青海 Qinghai	146.4	2.42	5.8	2 358.37	19.30	0.06
宁夏 Ningxia	351.8	3.25	10.1	2 760.14	15.44	0.33
新疆 Xinjiang	1 775.5	5.07	7.5	2 737.28	6.66	0.18

3.2 不同风险层面评价结果分析

依据表 3 的指标评分标准,计算出各个指标的具体得分,再通过表 2 的指标权重计算出各省区不同风险层面评价结果,并进行正向排序(图 2~5),可以看出各个风险要素在我国均表现出巨大的区域

差异。

由图 2 可知,原料供应风险层面(MR),排名前 5 位的分别是北京、上海、海南、天津和浙江,均为耕地资源紧缺、农业生产规模较小的区域;排名后 5 位的分别是河南、山东、黑龙江、四川和河北,均为我国

传统的农业区。整体来看,原料供应风险较小的区域主要集中在中部和东北农业发达区,风险较大的区域则集中在西北农牧区和东部沿海经济发达区,可见农业生产的发达程度和集中度是原料供应风险的决定性因素。

由图 3 可知,温度保障风险层面(TR),排名靠前的分别是黑龙江、青海、甘肃、新疆和内蒙古等位于高纬度或者青藏高原寒区的省份;排名靠后的则分别是海南、广东、广西、福建、重庆等低纬度省份,以长江为分界线,南北差异十分显著,符合我国气候条件随纬度和特殊气候带变化的规律。

由图 4 可知,社会经济风险(ER)层面,排名靠前的分别是位于西北和西南地区的甘肃、贵州、西藏、云南、青海等经济落后省份和上海、北京、浙江等沿海经济发达的省份;排名靠后的分别是山东、辽宁、广东、福建、河北等经济发展较好,同时农业生产也较为发达的省份,因为在社会经济发展水平过高

或者过低的区域,农户对沼气的认知接受程度普遍较低,不利于区域沼气产业的发展。

由图 5 可知,由沼气生产集中度得来的制度技术风险(SR)差异巨大,只有广西、四川、贵州、湖南、云南和河南等 6 省较小(风险等级小于 40),说明这些省份户用沼气产业发展状况良好,制度技术进步水平较高;其他省份风险等级均在 60 以上,且多个省份的风险等级接近于 100。说明我国的沼气生产集中度很高,存在极强的区域性。

3.3 区域综合风险评价结果分析

根据不同风险评价结果和公式(2)可以得到我国各省区基于秸秆生物质资源的户用沼气区域综合风险(RR),按照综合评分在 60 以上为高风险区,45~60 为一般风险区,45 以下为低风险区的分级标准,对我国户用沼气风险进行分区,并运用 ArcGIS 软件进行风险制图,结果见图 6。

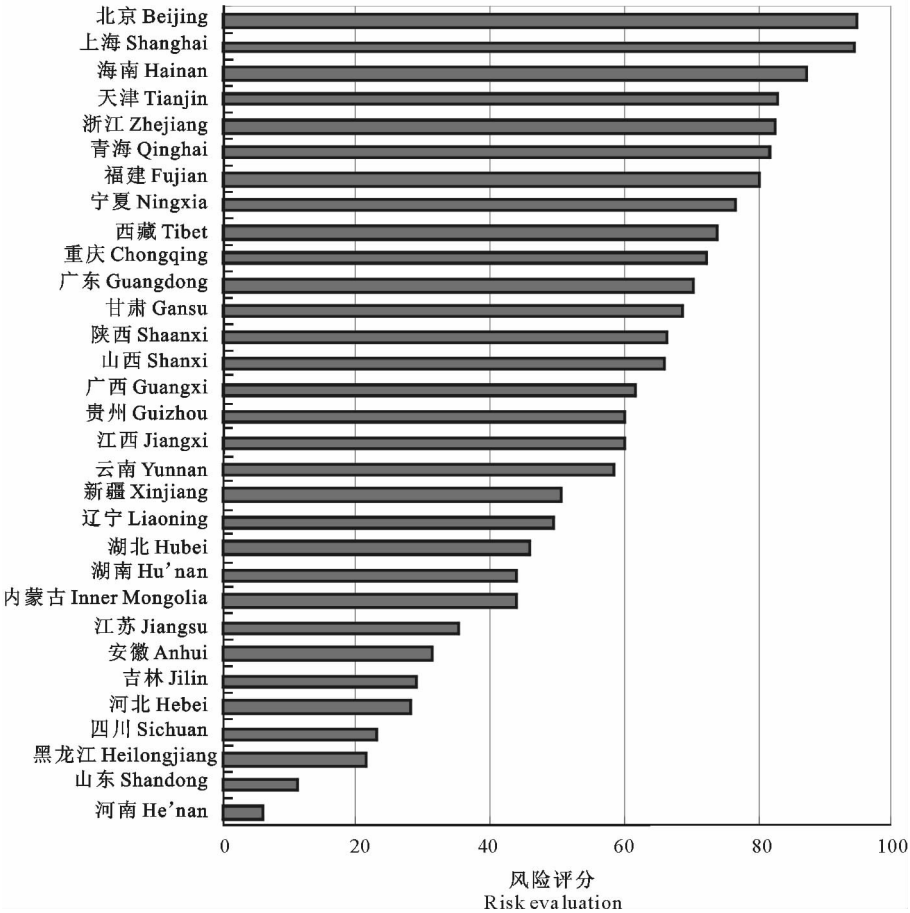


图 2 中国户用沼气区域风险评价的原料供应风险

Fig.2 Material supply risk (MR) of household biogas regional risk evaluation in China

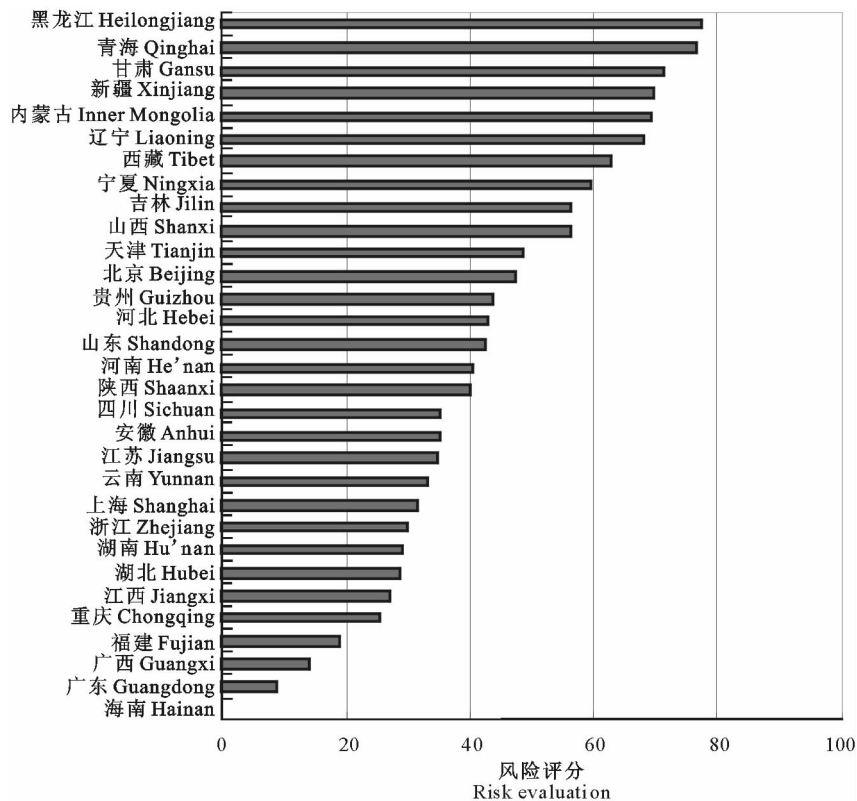


图 3 中国户用沼气区域风险评价的温度保障风险

Fig. 3 Temperature guarantee risk (TR) of household biogas regional risk evaluation in China

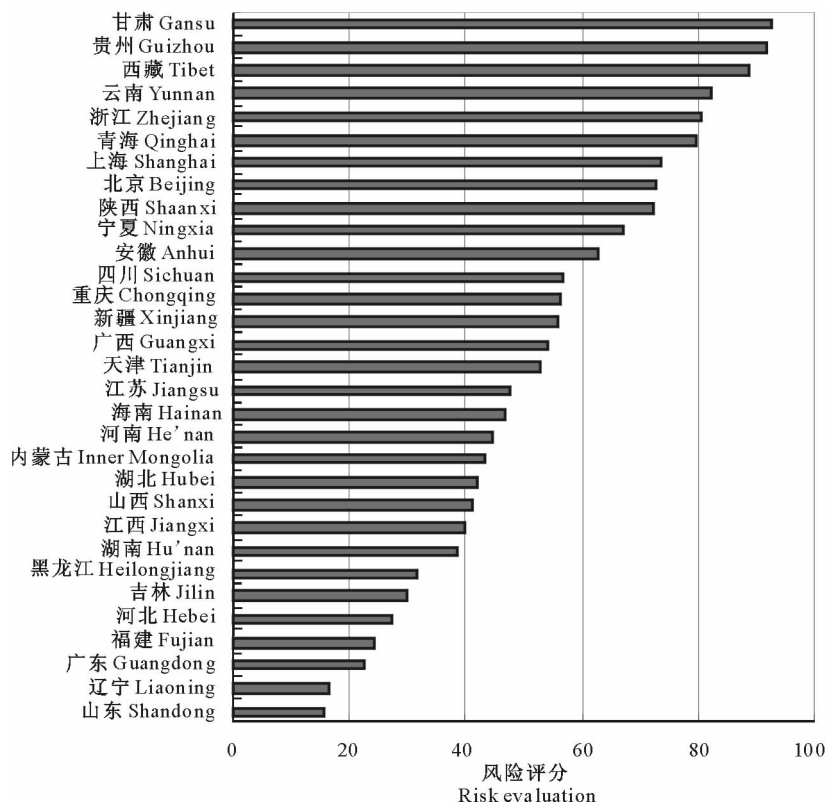


图 4 中国户用沼气区域风险评价的社会经济风险

Fig. 4 Social and economic risk (ER) of household biogas regional risk evaluation in China

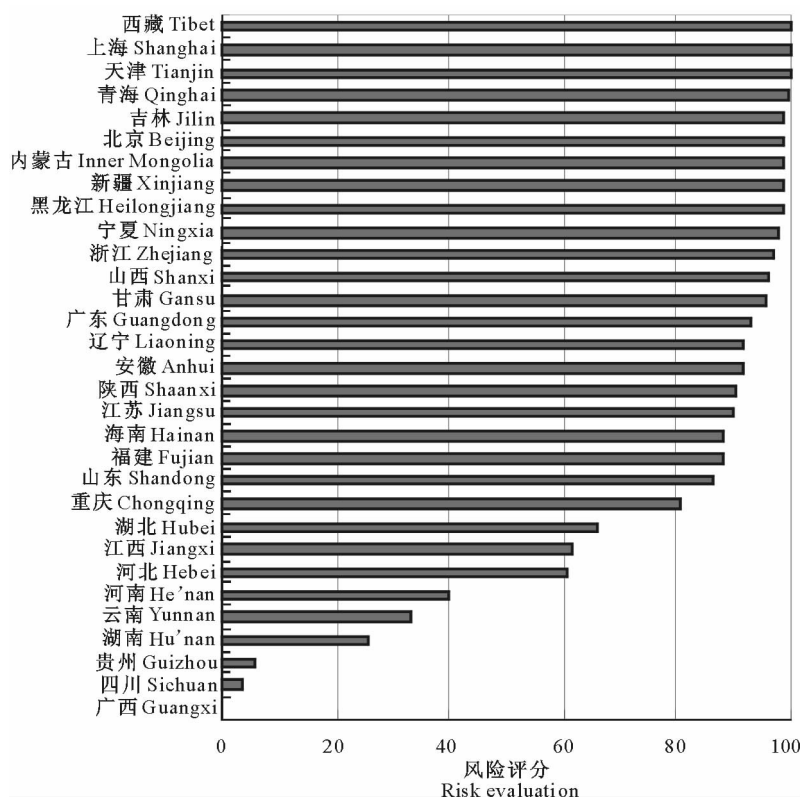


图 5 中国户用沼气区域风险评价的制度技术风险

Fig. 5 Support and technology risk (SR) of household biogas regional risk evaluation in China

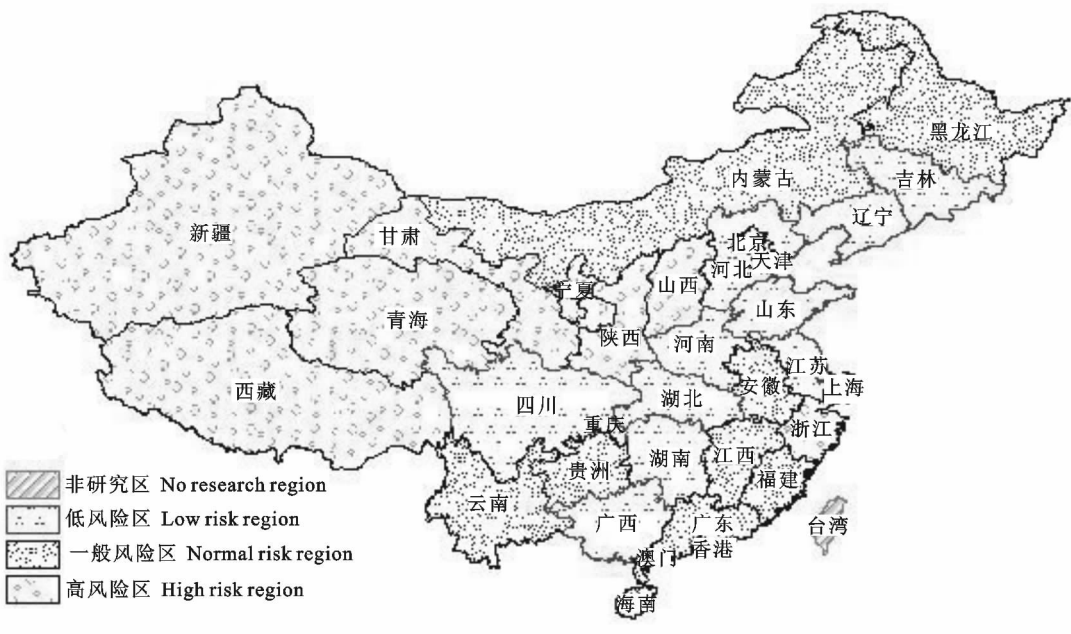


图 6 基于秸秆生物质资源的中国户用沼气综合风险分区

Fig. 6 Regional risk zoning of household biogas in China based on crop straw resources

由图 6 可以看出,综合风险较大的是西北和西南地区的青海、甘肃、西藏、宁夏、新疆等农业生产水平落后的省份以及东部的北京、天津、上海、浙江等

经济高度发达的省份,还有常规能源高度集中的山西;综合风险较小的是河南、山东、四川、河北、湖南、广西、湖北、吉林、江苏、辽宁等原料供应充足、温度

条件适宜、社会经济发展水平一般的省份;其他区域发展农村户用沼气的风险水平一般。

4 结论与讨论

本研究从原料供应、温度保障、社会经济和制度技术 4 个风险层面,选取了秸秆资源总量、秸秆产量多年平均增长率、年平均气温、农户人均年收入、15 岁以上人口文盲率和沼气生产集中度等 6 个指标,建立了基于秸秆生物质资源的中国户用沼气区域风险评价指标体系和评价模型。结果显示,我国各省区利用秸秆生物质资源来发展户用沼气普遍存在一种或者多种风险,综合风险较高的是农业生产水平落后、经济欠发达的省区(如青海、西藏、甘肃等),以及经济非常发达、耕地资源欠缺的省区(如北京、上海、天津等),综合风险较低的主要是原料供应充足、温度条件合适、社会经济发展水平一般的省份(如河南、山东、四川、河北、湖南、广西、湖北等)。本研究结果在一定程度上也说明利用秸秆资源发展农村户用沼气的主要致险因子是以耕地资源为基础的秸秆资源供给水平,及决定农户对沼气认知接受程度的社会经济发展水平。

本研究只是户用沼气风险研究的前期探索,在很多方面还很不完善,未来可望在以下几个方面继续深入研究。其一,要充分考虑致险因子的多样性和重合性,不但要考虑资源供给、自然环境和人文环境等因素,也要考虑区域常规能源的可获得性。其二,在风险研究中,承险体的脆弱性也是导致风险损失的重要因素,基于本研究内容,可以建立一个包括社会、经济和环境 3 个方面的综合承险体系,具体指标有待筛选确定。其三,在研究空间尺度上,由于影响沼气生产的最重要限制因子(如原料、温度和农户收入等)均存在较显著的区域差异,因此以县域统计口径对我国利用秸秆生物质资源发展户用沼气的风险进行估算,并通过 GIS 计算进行相关空间界定和表达,将具有更高的参考价值。

[参考文献]

[1] 肖 波,周英彪,李建芬. 生物质能循环经济技术 [M]. 北京:化学工业出版社,2006:13-16.
Xiao B,Zhou Y B,Li J F. The recycle economic technology of biomass energy [M]. Beijing:Chemistry Industry Press,2006:13-16. (in Chinese)

[2] 丁文斌,王雅鹏,徐 勇. 生物质能源材料——主要农作物秸秆产量潜力分析 [J]. 中国人口资源与环境,2007,17(5):84-89.
Ding W B,Wang Y P,Xu Y. Raw material of biomass ener-

gy——yield potential analysis of main crop straws [J]. China Polulation Resources and Environment,2007,17(5):84-89. (in Chinese)

[3] 曹国良,张小曳,郑方成,等. 中国大陆秸秆露天焚烧的量的估算 [J]. 资源科学,2006,28(1):9-13.
Cao G L,Zhang X Y,Zheng F C,et al. Estimating the quantity of crop residues burnt in open field in China [J]. Resources Science,2006,28(1):9-13. (in Chinese)

[4] 陈小华,朱洪光. 农作物秸秆产沼气研究进展与展望 [J]. 农业工程学报,2007,23(3):279-283.
Chen X H,Zhu H G. Research progress and prospect on producing biogas from crop straws [J]. Transactions of the CSAE,2007,23(3):279-283. (in Chinese)

[5] 管小冬. 农作物秸秆资源利用浅析 [J]. 农业工程学报,2006,22(1):104-106.
Guan X D. Analysis of crop stalk utilization [J]. Transactions of the CSAE,2006,22(1):104-106. (in Chinese)

[6] 李俊峰,时璟丽. 国内外可再生能源政策综述与进一步促进我国可再生能源发展的建议 [J]. 可再生能源,2006(1):1-6.
Li J F,Shi J L. International and Chinese incentive policies on promoting renewable energy development and relevant proposal [J]. Renewable Energy,2006(1):1-6. (in Chinese)

[7] 韩鲁佳,闫巧娟,刘向阳,等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状 [J]. 农业工程学报,2002,18(3):87-91.
Han L J,Yan Q J,Liu X Y,et al. Current utilization situation of crop straw resources in China [J]. Transactions of the CSAE,2002,18(3):87-91. (in Chinese)

[8] 姚向君,田宜水. 生物质能资源清洁转化利用技术 [M]. 北京:化学工业出版社,2005:134-165.
Yao X J,Tian Y S. Clean transformation and utilization technology of biomass resources [M]. Beijing:Chemistry Industry Press,2005:134-165. (in Chinese)

[9] 吴创之,马隆龙. 生物质能现代化利用技术 [M]. 北京:化学工业出版社,2003:46-57.
Wu C Z, Ma L L. Modern utilization technology of biomass energy [M]. Peking:Chemistry Industry Press,2003:46-57. (in Chinese)

[10] 袁振宏,吴创之,马隆龙. 生物质能利用原理与技术 [M]. 北京:化学工业出版社,2005:234-258.
Yuan Z H,Wu C Z, Ma L L. Utilization theory and technology of biomass energy [M]. Beijing:Chemistry Industry Press,2005:234-258. (in Chinese)

[11] 汪海波,杨占江,耿晔强. 中国农村户用沼气生产及其影响因素分析 [J]. 可再生能源,2007,25(5):106-109.
Wang H B,Yang Z J,Geng Y Q. Analysis on the household biogas production influence in China [J]. Renewable Energy,2007,25(5):106-109. (in Chinese)

[12] 邱 凌,杨改河,毕于运. 中国西部发展农村沼气的条件与对策研究 [J]. 干旱地区农业研究,2005,23(3):200-204.
Qiu L,Yang G H,Bi Y Y. Research on the advantage and measures of developing rural household biogas in West China [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2005,23(3):

200-204. (in Chinese)

[13] 刘 刚,沈 镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分区 [J]. 自然资源学报,2007,22(1):9-19.

Liu G,Shen L. Quantity appraisal of biomass energy and its geographical distribution in China [J]. Journal of Natural Resources,2007,22(1):9-19. (in Chinese)

[14] 李俊峰,王仲颖,梁志鹏,等. 我国未来可再生能源开发利用的战略思考 [J]. 中国能源,2004,26(3):4-10.

Li J F,Wang Z Y, Liang Z P,et al. Strategic considerations of future exploitation and utilization of renewable energy in China [J]. Chinese Energy,2004,26(3):4-10. (in Chinese)

[15] 周孟津,张榕林,蔺金印. 沼气实用技术 [M]. 北京:化学工业出版社,2004:34-39.

Zhou M J,Zhang R L, Lin J Y. Practical biogas technologies [M]. Beijing:Chemistry Industry Press,2004:34-39. (in Chinese)

[16] 中央气象局. 中华人民共和国气候图集 [M]. 北京:地图出版社,1979:3-5.

CMO. Climate chart of people's republic of China [M]. Beijing:Map Press,1979:3-5. (in Chinese)

[17] 王革华. 技术和政策投入与户用沼气的发展 [J]. 中国沼气,2003,21(2):36-40.

Wang G H. Technology and policy investment and the development of household biogas [J]. China Biogas,2003,21(2):36-40. (in Chinese)

[18] 陈 豫,杨改河,冯永忠,等. 户用沼气区域适宜性评价指标体系构建及分级标准的研究 [J]. 干旱地区农业研究,2008,26(5):228-232.

Chen Y,Yang G H, Feng Y Z, et al. Research on the index system and classification standard for household biogas region suitability evaluation [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2008,26(5):228-232. (in Chinese)

[19] 王秋华. 我国农村作物资源化调查研究 [J]. 农村生态环境,1994,10(4):67-71.

Wand Q H. Investigation of crop straw utilization in China [J]. Rural Eco-environment,1994,10(4):67-71. (in Chinese)

[20] MOA/DOE Project Expert Team. Assessment of biomass resource availability in China [M]. Beijing:China Environmental Science Press,1998:142-145.

[21] Yuan Z H,Wu C Z,Huang H, et al. Research and development on biomass energy in China [J]. International Journal of Energy Technology and Policy,2002,1:108-144.

[22] Saaty T L. The analytic hierarchy process [M]. Pittsburgh: Pittsburgh University Press,1998:76-89.

[23] 许树柏. 实用决策方法——层次分析法原理 [M]. 天津:天津大学出版社,1986:6-22.

Xu S B. A practical decision method: the analytic hierarchy process [M]. Tianjin:Tianjin University Press,1986:6-22. (in Chinese)

[24] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社,1988~2008.

NBSC. China statistical yearbook [M]. Beijing:China Statistics Press,1988—2008. (in Chinese)

[25] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料 2008 [M]. 北京:中国农业出版社,2008.

MAPRC. China agricultural statistical data 2008 [M]. Beijing:China Agriculture Press,2008. (in Chinese)