



江苏省社会科学基金后期资助项目

中国生物质发电产业的 空间布局与支持政策研究

闫浩 著



南京大学出版社

江苏省社会科学基金后期资助项目（批准号：17HQ018）

中国博士后科学基金第61批面上资助（编号：2017M611811）

中国生物质发电产业的 空间布局与支持政策研究

阎 浩 著

南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国生物质发电产业的空间布局与支持政策研究 /
闫浩著. — 南京: 南京大学出版社, 2018. 12

ISBN 978-7-305-21348-9

I. ①中… II. ①闫… III. ①生物能—发电—产业布
局—研究—中国 IV. ①F426.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 291456 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号

邮 编 210093

出 版 人 金鑫荣

书 名 中国生物质发电产业的空间布局与支持政策研究

著 者 闫 浩

责任编辑 朱小燕 荣卫红

编辑热线 025-83685720

照 排 南京南琳图文制作有限公司

印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司

开 本 718×1000 1/16 印张 15 字数 238 千

版 次 2018 年 12 月第 1 版 2018 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-21348-9

定 价 52.00 元

网址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

官方微信号: njupress

销售咨询热线: (025) 83594756

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	7
1.2 国内外研究现状	8
1.2.1 生物质发电技术和项目评价研究	8
1.2.2 生物质发电项目政策分析	10
1.2.3 生物质发电空间布局研究	12
1.2.4 生物质发电产业发展研究	17
1.2.5 生物质发电碳排放研究	20
1.3 主要内容和研究方法	22
1.3.1 主要内容	22
1.3.2 研究方法	23
1.4 创新点	24
第二章 相关的基本理论和方法	25
2.1 相关概念	25
2.1.1 新能源的定义	25
2.1.2 新能源产业的构成	26
2.1.3 生物质发电的概念	27
2.2 空间布局理论及方法	28
2.2.1 选址理论的发展	28
2.2.2 项目定址方法	31

2.2.3 生物质电厂选址	34
2.3 绿色发展理论	35
2.3.1 可持续发展理论	35
2.3.2 循环经济理论	37
2.4 政策理论	39
2.4.1 结构转换理论	39
2.4.2 市场失灵理论	40
2.4.3 技术创新理论	42
2.4.4 国家竞争力理论	44
第三章 我国生物质发电产业分析	48
3.1 主要发展阶段	48
3.1.1 第一阶段:研究、试验阶段(1987—2005 年)	49
3.1.2 第二阶段:快速发展阶段(2006—2010 年)	49
3.1.3 第三阶段:成熟阶段(2011 至今)	52
3.2 国内外生物质发电产业分析	53
3.2.1 与先进发达国家的生物质发电产业对比分析	53
3.2.2 我国生物质发电项目区域分布	56
3.2.3 我国生物质发电产业现状	57
3.2.4 我国生物质发电产业特点	65
3.3 我国生物质发电项目现有问题及其对策	68
3.3.1 我国生物质发电项目现存问题	68
3.3.2 我国生物质发电项目现存问题溯源	73
3.3.3 我国生物质发电项目发展的对策建议	76
第四章 生物质发电产业布局现状分析	84
4.1 生物质发电产业合理布局的意义	84
4.2 生物质发电产业布局的基本原则	85
4.2.1 生物质发电产业发展以不影响国家粮食安全为前提 条件	85

4.2.2	产业发展应考虑社会、经济和生态效益相统一	86
4.2.3	生物质发电产业布局与农业、工业、交通等其他产业布局 相结合	86
4.2.4	因地制宜,根据生产导向选择最优生产区位	86
4.3	中国生物质发电产业区域分布	87
4.3.1	中国生物质发电产业布局的主导方向	87
4.3.2	中国生物质发电产业重点发展领域	89
4.4	生物质发电产业发展现状	92
4.4.1	秸秆发电发展现状	92
4.4.2	垃圾发电发展现状	95
4.4.3	沼气发电发展现状	96
4.4.4	生物质发电的发展前景	97
第五章	我国生物质发电产业空间布局的影响因素	99
5.1	生物质发电系统	99
5.1.1	发电系统的边界及构成	99
5.1.2	发电系统的输入、输出	101
5.1.3	发电系统的生产过程	104
5.1.4	生物质发电项目建设运营所需设备设施	105
5.2	影响因素识别	109
5.2.1	技术因素对生物质发电的影响	110
5.2.2	经济因素对生物质发电的影响	111
5.2.3	社会因素对生物质发电的影响	112
5.2.4	环境因素对生物质发电的影响	113
5.2.5	碳排放因素对生物质发电的影响	114
5.3	影响因素之间的关系	115
第六章	我国生物质发电产业空间布局的区位选择方法	118
6.1	生物质发电空间布局的区位选择评价指标设计	118
6.1.1	指标设计的原则	118

6.1.2	现有的生物质发电相关评价指标体系研究	120
6.1.3	指标关联分析	127
6.2	生物质直燃发电项目区位选择指标体系	132
6.2.1	生物质发电项目区位评价指标体系构建	132
6.2.2	指标权重确定	136
6.3	评价方法	138
6.3.1	区位因素选择集	138
6.3.2	多属性分析	139
6.3.3	数据采集及其处理	139
6.3.4	可行性分析	141
第七章	我国生物质发电产业空间布局的定址模型	144
7.1	几个影响因素的进一步分析	144
7.1.1	装机规模与原料需求量	144
7.1.2	原料需求量与收购半径	145
7.1.3	收购半径与运输能耗	146
7.2	模型构造	147
7.2.1	基本模型构建	147
7.2.2	成本偏好下的模型	154
7.2.3	碳排放偏好下的模型	155
7.3	生物质秸秆发电项目定址的现实条件约束	156
第八章	我国生物质发电产业空间布局的案例分析	159
8.1	问题背景	159
8.2	数据来源	161
8.2.1	项目区位选择	161
8.2.2	项目定址决策	165
8.3	结论与讨论	169
8.3.1	结论	169
8.3.2	敏感性分析	170

第九章 生物质发电产业政策	172
9.1 中国生物质发电政策的演变	172
9.1.1 建国初期的生物质能利用政策(1949—1978 年)	172
9.1.2 能源需求增长下的生物质能利用政策(1979—1999 年)	173
9.1.3 全球气候变化下的生物质能支持政策(2000—至今)	174
9.1.4 中国生物质发电支持政策的演变特征	179
9.2 典型生物质能利用大国的政策及其特征	181
9.2.1 美国生物质能源发电政策及其特征	181
9.2.2 丹麦生物质能源发电政策及其特征	183
9.2.3 德国生物质能源发电政策及其特征	184
9.2.4 中外生物质能源政策差异性分析	186
9.3 国际生物质能支持政策对中国的启示	187
9.3.1 中国生物质发电支持政策的实施及其效果	187
9.3.2 中国生物质发电支持政策的不足	192
9.3.3 中国生物质发电支持政策的建议	193
附 录	198
参考文献	202

第一章 绪 论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

(1) 国内外生物质发电的发展状况

在全球可再生能源热量供给中,生物质能供给量最大。2016 年,生物质资源一次能源总供应量为 56.5 EJ,占可再生能源总供应量的 70%(World Bioenergy Association, 2018)。在各大洲,生物质能的作用非常突出。在非洲,90%以上的可再生能源的一次能源供应来自生物质能。在其他大洲的可再生能源供应中,生物质能的供应占比也是最大的。

从能量的应用来看,在电力部门,生物质能发电是第三大可再生能源来源,2016 年生物质发电 571 亿千瓦时。在热电厂发电过程中,由于化石能源的脱碳能力有限,使得生物质能在有限的选择中成为最重要的替代燃烧物之一。2016 年生物质能用于发电的热产生量为 1.05 EJ,而相比地热能产量为 0.04 EJ,太阳热能产量为 0.01 EJ,96%的可再生热力发电来源于生物质和废弃物。2000 年的情况有所不同,当时生物质能发电仅次于水电,位居世界第二。然而,在过去的十年里,太阳能和风能技术发展迅速。风电增长 30 倍,太阳能光伏发电增长 300 倍,太阳能热电发电增长 10 倍。从各大洲生物质能发电情况来看,欧洲生物质发电量最大,产量为 208 亿千瓦时,其次是美洲和亚洲,分别达到 162 亿千瓦时和 152 亿千瓦时(IEA, 2018)。

生物质能供应来自各种原料——木材燃料、森林残留物、木炭、农作物及其残留物、城市和工业废料、沼气、生物燃料等。一般来说,供应可分为三个主

要部门——林业、农业和废物。由于环境恶化问题的日益突出和对减少化石燃料使用的重视,利用生物质作为发电部门的原材料已成为许多国家的普遍做法。在 20 世纪 70 年代爆发全球石油危机之后,1988 年,世界上第一个 5 MW 秸秆发电厂诞生于丹麦 Haslev(林伟刚,2005)。美国于 1979 年开始测试区域生物质能源发展,并于 1991 年提出了生物质发电计划。随着可消耗能源的枯竭和“京都议定书”的生效,生物质发电在各国达到了工业规模,实现了成功的商业运作,如欧洲和美国。2004 年,丹麦拥有 130 座秸秆发电厂;2007 年,美国有 350 多个生物质发电厂,占美国一次能源消耗的 4%;而瑞典、奥地利和芬兰的生物质发电,分别占该国的 16%、10%和 11%。2010 年 11 月,美国提出了生物质中长期计划,其中生物质发电的绩效目标:通过提高发电能力,增加对国家可再生能源目标的贡献;并分别于 2015 年和 2016 年推出 10 个 20 兆瓦规模的发电测试和温室气体(GHG)减排的验证。根据美国能源信息署(EIA)预测,美国在 2008—2035 年间的新增发电量中,可再生能源占其 41%。增长最快的就是生物质发电,占总增量的 20.2%。更重要的是,秸秆发电技术已被联合国列为重点推广项目。

就我国而言,自 2007 年以来,中国已成为全球最大的二氧化碳排放国,主要是因为煤炭主导着我国的能源供应。在防止环境恶化和促进能源安全的双重压力下,以可再生能源为基础的低碳能源结构在中国经济发展中越来越重要。为了优化能源结构和减少温室气体排放,我国在过去几十年里一直在促进可再生能源和清洁能源作为替代品参与能源供应。目前,我国火力发电占总装机容量的 72%,发电量占总发电量的 81%。中国是世界上最大的发电和电力消费国,电力行业减排负担沉重(Zhang 等,2017)。利用发多样化的电源是在不损害电力消耗的情况下实现减排的解决办法之一。近年来,中国为实现减排目标做出了许多努力。自 2006 年出台价格补贴等政策以来,我国可再生能源补贴总量迅速增长。在强有力的政策支持下,我国可再生能源产业发展迅速。生物质能发电作为中国应对气候变化战略的重要组成部分,无论是在资金投入还是在装机容量方面,其规模都有了较大的增长。《中华人民共和国可再生能源法》和一系列支持性产业政策(如价格补贴和强制电网接入可再生能源)加快了我国生物质能发电产业的发展进程。

在我国重点发展的可再生能源(风能、太阳能和生物质能)发电方式中,由于其间歇性,风能和太阳能都在稳定供电上存在问题。如果必须避免碳排放,风能和太阳能发电厂的运行需要依赖生物质能源的后备能力(Moiseyev 等, 2014)。由于生物质发电的稳定性,其不依赖于使用化石燃料作为后备,因此生物质能资源可随时作为发电的原料供给电力(REN21, 2018)。同时,生物质能的利用可以转化为电力、燃气、液体、固体燃料等多种能源形式,满足多个行业的需求。农林废弃物是我国生物质能材料的主要组成部分,综合利用农林废弃物既能创造就业机会,又能保护环境,是促进农村经济发展的一种有吸引力的选择(Lin 和 He, 2017)。将农业生物质用于能源供应可以改善城市环境的脱碳并提升能源供应的可靠性。此外,考虑到收集和运输产生了大量的劳动力需求,它可以产生巨大的社会效益,增加就业和收入。

中国作为一个重要的发展中国家和转型国家,生物质能发电行业在 2006—2016 年大幅增长。根据统计,截至 2016 年底,生物质能发电总装机容量达到 1 214 万千瓦,较 2015 年增长 17.86%;发电量 650 亿千瓦时,较 2015 年增长 23.34%(REN21, 2018),并且生物质能发电排名世界第三。这些生物质发电中有很很大一部分是基于直燃技术。2013 年底,中国生物质能直燃机总装机容量为 4.195 GW(CNREC, 2013),并且生物质能发电的比重大于其装机容量的比重。

中国的生物质资源非常丰富,我国非常重视生物质能源。我国将生物质能利用技术的研究和应用列为四个“五年计划”的重点科技攻关项目。2003 年 11 月,中国政府、世界银行和全球环境基金(GEF)合作建立了中国可再生能源规模化发展项目(CRESP),项目一期旨在支持江苏、福建、内蒙古和浙江四个地区的高效、商业化可再生能源电力市场建设。可再生能源规模发展政策的一期试点和投资取得了初步成果,第二阶段得到了推广。“十一五”规划提出“加快物质能源的发展”。2007 年,《可再生能源中长期发展规划》确定了农业和林业发电残余物的总装机容量,2010 年为 4 000 兆瓦(MW),2020 年为 24 000 兆瓦。“十二五”期间,中国生物质发电能力将翻一番,达到 8 000 兆瓦。2009 年 6 月,国务院办公厅将生物能源列为《关于促进生物产业若干政策发展的通知》的五个重点领域之一。

2010年,中国农作物秸秆总产量约为7.2亿吨,到2020年预计将达到8亿吨。截至2013年底,我国累计批准的生物质发电量达到12 226.21兆瓦,并网容量为7 790.01兆瓦,占核定容量的63.72%。农林生物质直燃发电总装机容量为4 195.3兆瓦,占并网容量的53.85%。在农林生物质资源丰富的地区,生物质发电项目具有较高的规模效益和较低的发电成本。受上述资源禀赋和各地区生产特点的影响,我国生物质发电的分布特征十分明显。目前,华东并网发电装机容量达到3 514.84兆瓦,占全国总装机容量的45.12%;中部和南部的装机容量分别为1 438兆瓦和1 096兆瓦。

2006年1月实施的《中华人民共和国可再生能源法》及其修正案于2009年12月通过,确立了可再生能源的法律地位。虽然中国的生物质发电产业在政府支持下取得了快速发展,取得了很好的效果,但仍存在许多问题。

(2) 我国生物质发电存在的主要问题

根据国家发展和改革委员会和国家电力监管委员会2011年1月公布的数据,第一座生物电厂于2006年12月正式投入运营,截至2010年9月,农业和林业废弃电厂有70个。中国发电企业,总装机容量1 438.40 MW(国家发展和改革委员会,2011),没有完成预定的目标。主要原因是生物质发电投资巨大,运营成本高,现有企业普遍亏损,导致其他公司不敢投资。主要问题如下:

① 有些地方盲目开放生物质发电项目,而且这种现象有继续的可能

为了完成吸引投资、节约能源、减少排放的任务,一些企业被迫改造,以抓住优质原料生产基地和小火电企业,导致生物质发电项目无序化。截至2010年9月,前四名投产项目地区分别为江苏(11家)、山东(8家)、黑龙江(7家)和河南(6家)。例如,在江苏省宿迁100公里范围内,共有宿迁凯迪、中节能、国信泗阳、沐阳光大、嘉豪泗洪5座秸秆发电厂。前三个在施工后投入运营,而宿迁凯迪和中节能距离不足20公里。江苏盐城计划在五年内在各县建设秸秆发电厂;山东也有这样的计划。2009年2月,国家发展和改革委员会和农业部发布《关于编制秸秆综合利用规划的指导意见》。同年12月,江苏省率先推出《江苏省农作物秸秆综合利用规划(2010—2015年)》,主要目的是计划充分利用秸秆的多样性,接着是安徽、上海等地。各地区实施“综合利用规划”

将使秸秆供缺口更大(张钦,周德群,2010)。

② 生物质发电厂的原材料供应可能存在不足

原料供应不足是生物质电厂需要面对的主要问题,其根本原因有如下两点。首先,农民几乎不愿意出售稻草。稻草的收集、翻晒和储存都很费劲;当农场忙碌时,缺乏劳动力;农民卖秸秆没有利润。其次,企业之间的资源存在竞争。生物质发电项目部署密集,如宿迁;同时,秸秆具有其他用途,如扬州有造纸等 12 家企业,秸秆需求量为每年 3 万至 15 万吨,如东马塘镇是传统的草绳加工大镇,每年消耗稻草达 5 万吨。原料短缺导致企业生产能力不足,设备运行效率低下,秸秆价格逐年上涨(最高价格达到 480 元/吨),收购半径不断增大(国信如东电厂最大距离超过 200 km)(江苏省能源研究会,2009)。农业生物资源原料分散、不稳定的特点与中大型生物质生产的工业集中利用之间一直存在着矛盾。实际上,生物能源的最终利用和工业发展需要原料具有一种平衡机制来实现动态平衡。与农业生物质有关的能源战略假定当地区域广泛使用初级生物质资源,这将增加需要提供足够原料的生物质设施或植物之间的不合理竞争。评价现有农业资源的数量涉及评价生物质能在能源市场上的现实可行经济效益的情况。如果一个国家由于持续的能源需求而希望增加对当地农业资源的利用,就必须深入了解各种因素或驱动因素是如何影响地方和国家生物能源部门获得生物质资源的。

③ 生物质发电项目的安装规模还有讨论的余地

我国秸秆发电的装机容量一般有三种:24 MW, 25 MW, 30 MW。理论上,装机容量越大,效率越高;但投资所需资金、秸秆需求量和收购半径越大,其运行成本和风险也越高;短期内无法收回投资已成为事实。因此,有人提出小规模发电以避免上述问题(张钦和周德群,2010)。国家发改委已规定装机容量一般不超过 30 MW,每个县或 100 km 半径范围内不得重复建厂(国家发改委,2010)。2007 年加拿大政府就已经不鼓励大规模秸秆发电项目,比如多伦多、不列颠哥伦比亚开始支持 10 MW 以下规模的项目(Nasiri 和 Zaccour, 2009)。同时,尽管生物质发电技术迅速推广,以更清洁的方式利用的生物质在发电成本方面仍无法与化石燃料竞争。生物质发电行业是否仍出于规模报酬递增阶段很难判断。

④ 生物质收储、运输和发电中的能耗及碳排放,有研究的必要

随着新农村建设进程的加快,到 2020 年,中国农村商品能源消费量预计将从人均标准煤 0.62 吨增加到 1.99 吨,相当于中国能源开发中长期能源消费增长计划(2005—2020)的 60%。据统计,秸秆发电厂每年秸秆消耗量约为 20 万吨。如果按 365 天/年计算,平均需求量为 550 吨/天。从现场到临时采集点,只能使用三到四轮车,运秸秆为 1.5 吨/车,每天需要 367 辆。从临时采集点到发电厂的卡车可以运输 5 吨/车,这需要 110 辆/天。秸秆粉碎、包装和转运需要特殊设备和操作。因此,如果将秸秆大规模转化为电能,将不可避免地加剧农村能源的不合理现象(李晓明,2008):高能量密度传统能源,如煤炭和柴油分散在农村或小型城镇,利用效率低、污染严重;低能量密度秸秆资源,通过建立庞大的物流系统,消耗其他能源来转化和再利用。在坎昆会议之后,生物质发电能否为中国新减排目标做出贡献值得研究。此外,生物质发电行业缺少生物质废物收集价格标准和一个更加详细的补贴标准,以提高农民和机构的生物质废物收集和运输效率,并且生物质能在采运过程中也可能产生额外的碳排放。与煤燃料相比,生物质燃料的能量密度较低,而且它们的分布相对分散,因此在运输过程中可能会消耗大量的化石燃料;考虑这些消耗,可能会无法保证生物质燃料的利用产生正的净排放。

⑤ 对于“生物质电究竟划算不划算”有不同的观点

《科学时报》的采访引发了一场争论。虽然几篇论文不能成为最终答案,但是秸秆发电的综合效益一直备受关注。事实上,可持续发展也应该关注:中国秸秆发电以来,国家和地方政府在其多个环节给予政策支持。从 2009 年 7 月到 2010 年 9 月,企业享受了约 21.46 亿元的上网电价补贴(国家发展和改革委员会,2011),每个企业平均享受至少 3 000 万元的补贴。但是,政策是时间敏感的,比如 2015 年的上网电价。政策到期后,企业应该如何生存和发展?为了发展可再生能源,政府在过去几年里增加了补贴。考虑到中国是一个发展中大国,这给政府带来了沉重的负担。

像许多国家一样,中国在促进可再生能源和节约公共支出之间存在两难。从政府的角度来看,以最低成本减排的承诺是一个关键问题。有人可能会问,生物质能的发展是否是实现减排的有效途径?换句话说,生物质是否是其他

形式可再生能源的良好替代品？生物质供应链的主要特点：(1) 原料生产面积广，产量大，但企业需求量大，因此采购网络的收集半径过大；(2) 使用各种原料(中国使用 50 多种)，原料存在许多用途(至少 8 种)，供应量存在波动；(3) 原料重量大，低价值密度，采购、储存和储存困难；(4) 核心环节的发电企业处于强势地位，原料供应受许多农(林)农、中间商和竞争对手的影响；(5) 供应链产品——电力，国家实行全面采购。虽然这些特点与普通供应链不同，但供应链理论和方法可以用来解决上述问题。

1.1.2 研究意义

生物质发电的发展是实现我国能源结构转型的重要措施之一，然而在一一定的资金和技术条件下，从多个生物质发电中选择最合适的生物质发电技术极为重要。新能源的安装和使用不仅影响经济、环境、社会等，同时，其本身也受到该地区的经济、社会和环境等因素的影响，往往存在相互作用。综上，新的能源评估过程是一个复杂的系统工程。如果只对新能源的评价进行单指标分析，结果往往会出现很大的偏差。例如，如果只考虑经济因素，利用传统的化石能源发电在投资成本和电力成本方面具有很大的优势；如果只考虑社会保障因素，核电应该具有最小的发展价值，这也是发达国家对核电态度不一致及其寻求新能源发展的一种解释。因此，新能源动力的评价必须考虑技术、经济、环境和社会整体的影响以及不同因素之间的相互作用。系统研究以上内容具有重要的学术价值和现实意义。

在现有的生物质发电文献及江苏省技术、经济和环境背景的基础上，建立符合江苏背景的生物质发电产业指标体系，促进江苏省生物质发电产业的发展尤为关键。本书通过对评价指标权重的情景分析，对不同权重情景下的生物质发电开发方案进行比较研究，以进一步完善生物质发电评价指标权重的选择方法。生物质发电分析提出了基于指标相关效应的模型，使评价结果更加准确，促进了模糊测量和模糊积分法在生物质发电领域的应用。

在现实意义方面，大力发展新能源技术、利用新能源已成为电力结构转型的主要方式。虽然江苏省在新能源资源方面具有一定的优势，但目前尚不清楚新能源的重点发展领域。本研究综合考虑了江苏省在新能源技术、经济、环

境等方面的情况,可以根据江苏自身发展的特点,为新能源的选择提供更有针对性的依据。同时本研究从多属性决策的角度出发,以总体最优为目标,考虑指标间的相关效应,有利于江苏省对新能源的有效决策,从而促进江苏省新能源的可持续发展。

1.2 国内外研究现状

国内外关于生物质发电技术的研究主要集中在技术及项目的效益评价研究、政策支持研究、空间布局研究、产业发展研究、技术的碳排放研究五个方面。

1.2.1 生物质发电技术和项目评价研究

在新能源技术评价的方法选择上,Pohekar(2004)对应用于可再生能源规划的方法进行了综述并将这些方法分成了三类,分别为决策支持系统、多目标优化以及多属性决策方法。Pohekar 通过对有关能源领域的文献进行总结发现:近 70% 的能源问题采用多属性评价方法,其中最广泛使用的多属性评价领域分别包括新能源规划(34%)、能效规划(19%)、能源分配(15%)、建筑能源管理(13%)和能源项目规划(12%)。在所有多属性评价方法中,应用较多的主要有多属性应用理论、层次分析法、PROMETHEE、ELECTRE、种类偏好法、模糊集规划等方法。周鹏(2006)将能源规划领域的决策分析方法分为三类:单目标决策分析、决策支持系统和多属性决策方法,每种方法都包含不同的评价方法,如图 1.1 所示。此外,Løken(2007)年对多属性决策方法在能源规划领域的应用进行了综述,他将多属性决策方法分为四类,分别是价值测量模型、目标规划模型、Outranking 模型、混合模型。其中价值测量模型主要包括层次分析法、多属性效用理论、多属性价值理论等方法;目标规划方法主要有最优方案替代法、STEP 法、TOPSIS 法等方法;Outranking 模型主要包括 PROMETHEE II、ELECTRE II、ELECTRE III 等方法;混合模型是将多属性决策不同模型进行相互结合,主要有 AHP 和 TOPSIS 结合、AHP 和目

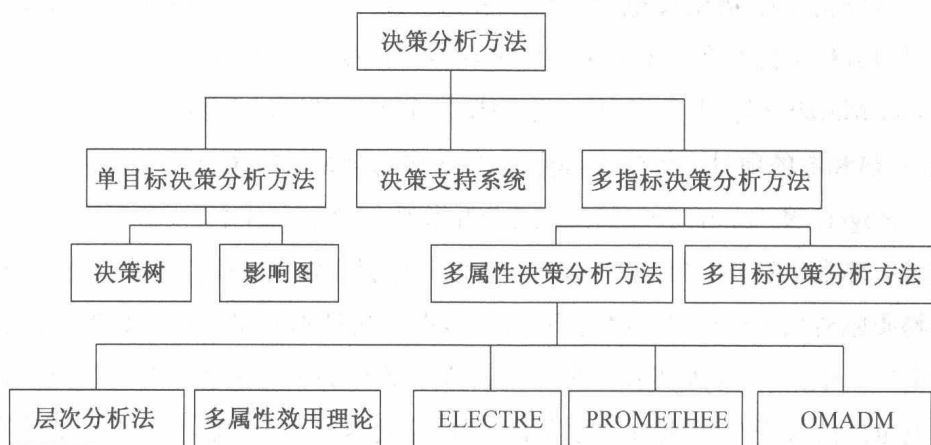


图 1.1 决策分析方法分类

标规划法结合等。此外也有一些学者采用其他的多属性评价方法,例如:语言有序加权平均法(Doukas 等,2007)、模糊方法(Mamlook 等,2001)、成本收益法(Mohsen 和 Akash,1997)、灰色关联度法(Wang 等,2008)等。

针对生物质发电技术和项目的评估, Suramaythangkoor 和 Gheewala (2008)认为,秸秆发电在泰国秸秆发电实际应用中具有潜在价值,在整个生命周期评估中具有很强的生态发展价值。林琳等(2008)以 25MW 项目为对象,选择 GWP, AP 等环境指标对其进行了全生命周期评价,并指出该项目排放的碳主要来源于秸秆运输阶段。秸秆发电建设污染主要来自建筑用混凝土,环境效益优于火电。于春燕、孟军(2010)对秸秆发电的内部经济运行效应,即秸秆发电项目的投资回报,运用与动态评价的相关数据,进行了较为有效的研究和评估。研究指出秸秆资源用于发电项目运营成本低、收入可观,但初期投资高、投资回收期长、经济效益滞后,考虑到技术经济指标等,长期经济效益显著。David R. McIlveen-Wright 等(2013)利用 ECLIPSE 仿真软件对 350MW 循环流化床锅炉系统生物质发电项目(Circulating Fluidized Bed Combustion, CFBC)、44MW 沸腾式流化床锅炉系统(Bubbling Fluidized Bed Combustion, BFBC)生物质发电项目和 30MW 的 BFBC 生物质发电项目进行了比较分析,从技术经济的角度评价了不同技术、不同规模的项目。此外,许多学者分析了不同地区生物质发电技术的技术经济发展潜力或环境效益。例如,唐朝贤