

中国省域生物质发电潜力评价及规划目标配额分析

宋开慧, 周景月, 张培栋, 阚士亮

(青岛科技大学环境与安全工程学院, 山东青岛266042)

摘要: 利用2012年宏观数据, 探究中国生物质资源的省域分布及发电潜力阈值, 构建生物质发电潜力指数(BPGI)指标体系, 评价各省(区、市)生物质发电的发展水平及潜力, 并结合省级电网碳排放强度对各省规划装机目标配额进行优化。结果表明: 2012年中国生物质发电潜力

阈值为 1.612×10^5

MW/年; 河南、黑龙江、山东位列前三, 可承担中国“十三五”期间24.10%的生物质发电目标装机量; 上海、北京、浙江等地可通过资金输出间接承担。为促进中国生物质发电产业的布局优化、合理开发提供参考。

2014

年, 全社会

电力生产量达55233亿kW

h, 其中火力发电占67.32%[1]。电力构成以煤电

为主, 排放大量CO₂

, 环境压力巨大。中国生物质资源丰富, 开发利用生物质能具有良好的资源环境效益, 但其市场驱动不足, 需要保护性的政策措施调控市场、规划布局。根据发电方式不同, 生物质发电效率介于15%~60%之间, 其环境效益主要体现在资源可再生和碳减排方面, 其CO₂排放系数分布均值为18gCO₂

eq/kWh[2]。根据中国《可再生能源中长期发展规划》, 截至“十二五”和“十三五”时期末, 中国生物质发电装机容量将分别达到1300万kW和3000万kW。

明晰生物质资源发电的开发潜力及分布特征, 是其战略决策与最优发展路径甄选的重要基础。明确各省(区、市)(下文对省级单位简称省, 未包括台湾、香港、澳门)可承担的生物质发电规划装机目标额度, 是把握整体布局、制定区域性政策与规划、完善国家规划目标的重要参考和保障。2007年中国农作物秸秆资源、薪柴资源、禽畜粪便可利用量分别为7.5亿吨、1亿吨、9亿吨, 作为能源利用前景较好[4]; 2011年中国9种主要农作物秸秆及其加工废弃物的最大发电潜力为68332.31MW[5]。目前生物质利用潜力的研究多侧重于对量的核算, 尚缺乏生物质相对发展水平及潜力的评价。本文通过探究中国农业秸秆、林木薪柴和人畜粪便等生物质资源的省域分布, 估算其在各省的发电潜力阈值; 通过构建生物质发电潜力指数(BPGI)指标体系, 评价各省生物质发电的发展水平及潜力; 利用BPGI将国家生物质发电的规划装机目标分配至各省, 并结合省级电网碳排放强度对规划目标配额进行优化; 为中国生物质发电产业的布局规划及政策措施完善, 提供理论参考。

1 研究方法 with 数据来源

生物质资源主要包括农业秸秆、林木薪柴、人畜粪便、能源作物、生活污水和工业有机废水。其中生活污水、工业有机废水多作为污水进行处理, 基因工程生产能源作物尚未得到广泛应用, 故不予计量。2010年全国秸秆平均可收集资源量约为理论资源量的83.33%, 秸秆作为燃料使用量(含农户传统炊事取暖、秸秆新型能源化利用)约为可收集资源量的17.43%; 农作物秸秆综合利用的重点方向是肥料、饲料、基料、燃料, 目前经济技术条件下用作燃料的综合效益较次[6]。考虑到中国严峻的能源形势, 取生物质资源的可收集资源量估算其发电潜力阈值。为便于估算, 农作物秸秆、林木薪柴、人畜粪便的整体能量转换效率皆取为20%。

选取生物质发电潜力阈值（下文简称潜力阈值， $BPP_{Max}(i)$ ）、生物质发电潜力阈值密度（下文简称潜力密度， $NPPA_{Max}(i)$ ）、生物质剩余发电潜力（下文简称剩余潜力， $NPPT(i)$ ）作为生物质发电潜力指数的二级指标，如公式（1）~（7）。利用 BPGI 将国家生物质发电规划装机目标分配到省，如公式（8）。

选取稻谷、小麦、玉米、棉花、豆类、花生、油菜籽、薯类、甘蔗 9 种主要农作物进行农业秸秆资源发电潜力的估算。

$$ABPP_{Max}(i) = C(j) \times \left[\left(\sum_{j=1}^n P(i,j) \times R(j) \times F(j) \right) \times 0.2 \right] / T \quad (1)$$

$ABPP_{Max}(i)$: i 省主要农业秸秆资源的最大年发电量;

$C(j)$: j 种农作物秸秆的低位发热量^[5], MJ/t;

$P(i, j)$: j 种农作物在第 i 省的年产量, 万 t;

$R(j)$: j 种农作物的草谷比^[5];

$F(j)$: j 种农作物的可收集利用率^[5];

T : 年度持续运行时间, s ($5844^{[7]} \times 3600$)。

选取薪炭林、用材林、防护林及四旁树, 采用产柴率和取柴系数^[8-9]来计算主要林木薪柴资源的发电潜力, 并考虑每年森林抚育间伐量。

$$FBPP_{Max}(i) = \left[\left(\sum_{i=1}^n (F_i x_i Q_i + X_i y_i q_i) + T_i r_i m_i + 0.344W \right) \times 0.2 \right] \times \eta_i / T \quad (2)$$

$FBPP_{Max}(i)$: 第 i 省林木薪柴生物质资源的最大年发电量, MW;

F_i : 该年 i 省 n 种林地的造林面积, 万公顷;

x_i : i 种林地的产柴率, kg/hm²;

Q_i : i 种林地取柴系数;

X_i : i 省四旁树植树株数, 万株;

y_i : i 省内四旁树产柴率, kg/株;

q_i : i 省四旁树取柴系数;

T_i : 森林抚育面积, hm²;

r_i : i 省森林抚育的产柴率;

m_i : i 省森林抚育的折重系数;

0.344: 木材加工剩余物的比例^[8];

W : 地域范围内年木材产量;

η_i : 薪柴低位发热量, 16726kJ/kg^[10];

T : 年度持续运行时间, s (5844×3600)。

粪便来源为人以及牛、羊、猪、马。人畜粪便资源发电潜力根据各地区人数、禽畜存栏数和人畜的年平均排泄量来进行估算^[4]。

$$EBPP_{\text{Max}}(i) = [(\sum_j P_{(i,j)} A_{(i,j)}) \times 0.2] \times \mu_j / T \quad (3)$$

$EBPP_{\text{Max}}(i)$: 第 i 省人畜粪便资源的最大年发电量, MW;

$P_{(i,j)}$: 第 i 省 j 类人畜的数量;

$A_{(i,j)}$: 第 i 省 j 类人畜粪便排泄量中干物质量^[10];

μ_j : j 类粪便低位发热量^[11], kJ/kg;

T : 年度持续运行时间, s (5844×3600)。

$$BPP_{\text{Max}}(i) = ABPP_{\text{Max}}(i) + FBPP_{\text{Max}}(i) + EBPP_{\text{Max}}(i) \quad (4)$$

$BPP_{\text{Max}}(i)$: i 省的生物质发电潜力阈值, MW/年;

$$NPPA_{\text{Max}}(i) = \frac{BPP_{\text{Max}}(i)}{\text{Area}(i)} \quad (5)$$

$NPPA_{\text{Max}}(i)$: i 省生物质发电潜力阈值的密度, MW/万 km^2 ;

$\text{Area}(i)$: i 省的面积, 万 km^2 ;

$$NPPT(i) = \frac{BPP_{\text{Max}}(i) - BPP_{\text{Now}}(i)}{BPP_{\text{Max}}(i)} \quad (6)$$

$NPPT(i)$: i 省的生物质剩余发电潜力, %;

$BPP_{\text{Now}}(i)$: i 省的现有生物质发电装机量, MW/年;

$$BPGI(i) = \left(\sum_k \frac{k_{\text{Max}}(i) - k_{\text{Max}}(i_{\text{Min}})}{k_{\text{Max}}(i_{\text{Max}}) - k_{\text{Max}}(i_{\text{Min}})} \right) / 3 \quad (7)$$

$BPGI(i)$: i 省的生物质发电潜力指数;

$k_{\text{Max}}(i)$: i 省 k 类二级指标, $k = BPP, NPPA, NPPT$ (下同), MW/年、MW/万 km^2 、%;

$k_{\text{Max}}(i_{\text{Max}})$: 各省 k 类二级指标的最大值, MW/年、MW/万 km^2 、%;

$k_{\text{Max}}(i_{\text{Min}})$: 各省 k 类二级指标的最小值, MW/年、MW/万 km^2 、%。

$$BPP_{lc}(i)_n = \frac{BPGI(i)_{n-1}}{\sum_i BPGI(i)_{n-1}} \times BPP_{lc,n} \quad (8)$$

$BPP_{lc}(i)_n$: i 省第 n 年的生物质发电规划装机目标配额, MW;

$BPGI(i)_{n-1}$: i 省第 $n-1$ 年的生物质发电潜力指数, $BPGI(i)_{n-1} \geq 0.4$;

$BPP_{lc,n}$: 中国第 n 年的生物质发电规划装机量目标, MW。

考虑历年生物质资源量总体变化不大及数据可获得性，农业秸秆和人畜粪便生物质能源估算的原始数据来源于《中国统计年鉴2013》[2]；林木薪柴生物质资源估算数据来源于《中国林业统计年鉴2011》[13]。生物质发电装机数据来源于可再生能源信息网[14]，装机量包括截止到2015年3月各省已建、在建及核准的生物质发电装机量，将该数据作为2015年底的生物质发电装机量。

2结果分析

2.1省域生物质发电潜力评价

各省（区、市）生物质发电潜力情况如表1所示。根据估算结果可知，中国生物质资源发电潜力巨大，年理论装机量阈值为 1.612×10^5

MW。其中农业秸秆、林木薪柴和人畜粪便分别为 $1.062 \times$

10^5 MW、 1.852×10^4 MW、 3.642×10^4

MW，分别占比65.91%、11.49%、22.60%。生物质资源的分布契合中国农产品“七区二十三带”的战略布局。

表 1 各省区生物质资源发电潜力

地域	省份	发电潜力 阈值/ MW	潜力密度/ (MW/ 万 km ²)	剩余潜力/ %	2015 年 BPGI (i)
华北	北京	422.31	251.25	71.45	0.2814
	天津	570.12	477.21	81.75	0.4295
	河北	8201.50	434.40	93.25	0.6599
	山西	3064.07	195.54	86.55	0.4029
	内蒙古	8713.34	73.65	96.25	0.5435
东北	辽宁	5248.60	357.29	97.55	0.5790
	吉林	7683.05	409.98	88.55	0.6128
	黑龙江	12529.68	275.50	93.45	0.7035
华东	上海	373.50	589.12	36.30	0.2318
	江苏	6373.63	621.21	85.75	0.6507
	浙江	2073.90	203.72	69.65	0.2934
	安徽	7348.34	526.39	92.05	0.6696
	福建	1612.49	132.82	82.80	0.3225
	江西	4557.88	272.44	92.60	0.5021
	山东	12019.65	765.10	52.05	0.6707
中南	河南	13949.08	842.34	95.45	0.9762
	湖北	6754.61	363.35	83.85	0.5467
	湖南	7478.95	351.45	94.50	0.6154
	广东	4131.81	229.80	82.50	0.4217
	广西	5792.61	244.72	95.95	0.5388
	海南	664.11	187.60	81.05	0.3120
西南	重庆	2475.22	300.38	93.45	0.4666
	四川	8782.59	181.35	87.10	0.5405
	贵州	3368.60	191.18	89.30	0.4230
	云南	5634.54	147.00	95.80	0.4950
	西藏	1391.76	11.33	100.00	0.3583
西北	陕西	3190.35	155.02	94.60	0.4319
	甘肃	3326.39	73.32	98.10	0.4208
	青海	1287.28	17.82	99.85	0.3576
	宁夏	1323.13	199.27	89.85	0.3789
	新疆	10855.70	65.20	99.45	0.6094
合计		161198.78	167.45	89.05	0.4572

2015年生物质发电潜力指数大于0.6的省区包括河南、黑龙江、山东、安徽、河北、江苏、湖南、吉林、新疆;生物质发电潜力指数在0.2~0.4之间的省市包括上海、北京、浙江、海南、福建、青海、西藏、宁夏。

2015年各省(区、市)中,河南的生物质发电潜力最大,其BPGI为0.9762;河南是农业大省,生物质资源密度和发电潜力阈值皆居于首位,后者达13949.08MW/年,且河南现有生物质发电装机规模仅为其可开发潜力的4.55%,剩余开发潜力较大。黑龙江的生物质发电潜力居于各省第二位,现有生物质发电装机规模为其可开发潜力的6.55%,剩余开发潜力较大。山东的BPGI为0.6707,居于各省市的第三位,其发电潜力阈值位列第三,资源密度位列第二,现有生物质发电装机规模为其可开发潜力的47.95%,剩余开发潜力相对较小。安徽、河北、江苏、湖南、吉林等地BPGI均在0.6~0.7之间,其生物质发电潜力阈值分布于6300~8300之间,潜力密度分布于350~630之间,剩余发电潜力分布于85%~95%

之间,三项指标在

全国各省市中皆属于中等水平。新疆

的生物质发电潜力密度仅为65.2MW/万km²

,剩余发电潜力达99.45%,潜力阈值为10855.70MW/年;其BPGI为0.6094,发电潜力较大却难以开发。

生物质发电潜力指数在0.2~0.4之间的省(区、市)包括上海、北京、浙江、海南、福建、青海、西藏、宁夏。这8个省(区市)的发电潜力阈值皆在2100MW/年以下,其中海南、北京、上海依次为664.11MW/年、422.31MW/年、373.50MW/年

,位列全国最小发电潜力阈值的前

三位。潜力密度方面,上海为589.12MW/万km²,北京为251.25MW/万km²

,其余6省(区市)潜力密度普遍低于205MW/万km²

;青藏两地则低于20MW/万km²

,是全国潜力密度最小的两个地域。剩余发电潜力方面,上海为36.30%,剩余发电潜力最小;北京、浙江、海南、福建等经济技术条件较好的地域,生物质剩余发电潜力皆在83%以下;宁夏的生物质剩余发电潜力为89.85%,属于生物质发电发展中等水平的地域;青海,受资源条件约束,其生物质剩余发电潜力分别为99.85%、100.00%,属于生物质发电利用困难的地域。

2.2 生物质发电规划目标配额分析

2015年,中国生物质装机总容量为17628MW,为完成到“十三五”末生物质发电装机容量30000MW的目标,“十三五”期间需要新增12372MW的生物质发电装机。按国家整体年增长量不变进行规划预测,即2016-2020年每年增加生物质发电装机2474.4MW。按公式(8)将国家规划目标逐年分配至各省,得出“十三五”期间各省生物质发电可新增装机的基础值及“十三五”末各省的生物质发电潜力指数基础值。

将生物质发电潜力密度小于100MW/万km²

的省区在规划预测中承担的非零新增装机量配额,根据省级电网碳排放强度进行全额第二次分配。省级电网碳排放强度在1000gCO₂

e/kw·h以上的省(区、市)包括内蒙古、黑龙江、河北、山西、辽宁、宁夏、山东、吉林、陕西、天津、河南[15]。将1450.44MW装机量按省级电网碳排放强度的比例,进行第二次分配。修正后的“十三五”期间各省可新增生物质发电装机情况,以及“十三五”末各省生物质发电潜力指数如表2所示。

表2 基于BPGI的生物质发电“十三五”规划目标省域配额

地域	省份	2015年生物质发电潜力指数	“十三五”期间可新增装机基础值/MW	“十三五”末BPGI基础值	“十三五”期间可新增装机/MW	规划目标完成贡献率/%	“十三五”末BPGI修正值
华北	北京	0.2814	0	0.2814	0	0	0.2814
	天津	0.4295	82.32	0.3540	193.04	1.56	0.2524
	河北	0.6599	732.08	0.6132	851.49	6.88	0.6056
	山西	0.4029	77.22	0.3897	195.55	1.58	0.3695
	内蒙古	0.5435	603.92	0.5072	129.41	1.05	0.5357
东北	辽宁	0.5790	631.85	0.5160	749.74	6.06	0.5042
	吉林	0.6128	678.45	0.5666	789.82	6.38	0.5590
	黑龙江	0.7035	788.28	0.6706	908.56	7.34	0.6656
华东	上海	0.2318	0	0.2318	0	0	0.2318
	江苏	0.6507	715.86	0.5920	715.86	5.79	0.5920
	浙江	0.2934	0	0.2934	0	0	0.2934
	安徽	0.6696	740.29	0.6169	740.29	5.98	0.6169
	福建	0.3225	0	0.3225	0	0	0.3225
	江西	0.5021	544.18	0.4396	544.18	4.40	0.4396
	山东	0.6707	750.93	0.6380	867.08	7.01	0.6330
中南	河南	0.9762	1095.96	0.9351	1206.14	9.75	0.9309
	湖北	0.5467	602.72	0.5000	602.72	4.87	0.5000
	湖南	0.6154	680.77	0.5678	680.77	5.50	0.5678
	广东	0.4217	257.60	0.3890	257.60	2.08	0.3890
	广西	0.5388	590.55	0.4855	590.55	4.77	0.4855
	海南	0.3120	0	0.3120	0	0	0.3120
西南	重庆	0.4666	381.75	0.3859	381.75	3.09	0.3859
	四川	0.5405	600.74	0.5047	600.74	4.86	0.5047
	贵州	0.4230	166.54	0.3972	166.54	1.35	0.3972
	云南	0.4950	541.83	0.4446	541.83	4.38	0.4446
	西藏	0.3583	0	0.3583	0	0	0.3583
西北	陕西	0.4319	261.78	0.3889	373.04	3.02	0.3707
	甘肃	0.4208	165.64	0.3947	75.19	0.61	0.4089
	青海	0.3576	0	0.3576	0	0	0.3576
	宁夏	0.3789	0	0.3789	117.57	0.95	0.3324
	新疆	0.6094	680.88	0.5766	92.68	0.75	0.6050
合计		0.4572	12372.1	0.4171	12372.1	100.00	0.4171

“十三五”规划配额的预测结果表明，河南、黑龙江、山东是可承担装机目标最多的3个省，分别可承担1206.14MW（9.75%）、908.56MW（7.34%）、867.08MW（7.01%），与前文河南、黑龙江、山东3省生物质发电潜力最大的分析相吻合。上海、北京、浙江、海南、福建、青海、西藏等地不直接承担“十三五”生物质发电装机目标配额；上述7个省域BPGI在0.2~0.4之间，发电潜力偏小。2015年宁夏的生物质发电潜力指数为0.3789，在“十三五”生物质发电规划目标第一次分配过程中亦不直接承担装机目标配额，因其省级电网碳排放强度较大，经修正调整，可考虑宁夏承担117.57MW的装机配额（0.95%）。

河北、吉林、辽宁、安徽、江苏可承担的生物质发电装机目标皆在700~900MW之间，湖南、湖北、四川可承担的生物质发电装机目标皆在600~700MW之间；生物质发电潜力从大到小分别是安徽、河北、江苏、湖南、吉林，由于河北、辽宁、吉林省级电网的碳排放强度偏高，经过装机目标的修正调整，上述省区的发展潜力与装机目标的对应关系发生了

一定变化。201

5年新疆的生物质发电潜力指

数为0.6094，发电潜力较高，潜力密度仅为65.2MW/万km²

，剩余发电潜力达99.45%，说明其资源条件限制了生物质的开发利用，在目前经济技术条件下尚难以充分利用其生物质资源，故对其装机目标进行全额修正，调整后新疆可承担生物质发电装机目标配额为92.68MW（0.75%）。

就“十三五”24个省完成生物质发电规划配额需保持的年均增长率来看,共有17个省高于全国平均年增长率11.22%,辽宁、广西、重庆、云南、陕西、河南、天津、湖南、江西、新疆、河北高达20%以上,其中辽宁最大(46.78%)。上海、北京、浙江、福建等不直接承担“十三五”生物质发电装机目标配额,因其生物质资源条件有限且开发程度较大;上述省市的经济条件较为优越,可在生物质发电规划布局中作为资金输出单位,在全国范围内根据生物质发电的布局 and 区域经济条件进行资金调配。青藏等地生物质资源过于分散,解决秸秆等生物质资源的难收集问题,是保障生物质发电燃料供应、促进其发展的重要基础。秸秆资源收集系统的建设完善需要紧密结合农业生产模式,创新其收集作业链。

3结论与建议

生物质发电规划配额不是简单的额度分配,是合理布局全国生物质发电建设中对各省所能承担的建设规模的一种合理性评定;该规划目标配额的完成,不能行政强制,需要纲领性的规划引导,由市场推动实现。促进生物质发电的发展,需要国家能源部门与农业部门加强合作,制定与农业发展模式高度契合的生物质能源政策,积极促进农业增值,农业发展规划及政策措施努力配合生物质资源的开发利用。着力引导生物质利用科研投入的增加,突破核心技术,提高发电工艺的效率,实现生物质资源高效化利用。继续推进生物质热电联产系统,发展绿色循环经济产业链。通过合理布局、资金调配、完善政策促进中国生物质发电的持续发展。

国家在制定生物质发电的支持政策时,需要考虑各区域的资源富集程度差异、发电技术差异、开发阈值等,完善财税支持体系。国家调整对生物质发电建设及运营的财税补贴措施,可采用额度内财税支持政策。根据规划目标,对各省配额内的生物质发电新增装机施行梯度财税补贴及奖励制度,对完成规划的目标装机,减额财税进行补贴;对超出目标的新增装机,施行全额补贴及奖励。生物质新增装机的电价补贴制度,可按效率施行梯度上网电价,单位装机低效率内的发电量按国家既定标准进行补贴,单位装机高效率范围内的发电量按高于标准的价格补贴。

参考文献:

- [1] 国家能源局[EB/OL]. http://www.nea.gov.cn/2015-01/16/c_133923477.htm.
- [2] ROBERTO Turconi, ALESSIO Boldrin, THOMAS Astrup. Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: overview, comparability and limitations[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2013(28): 555-565.
- [3] IPCC. Renewable energy sources and climate change mitigation[R/OL]. http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Full_Report.pdf.
- [4] 王小明, 唐兰, 赵黛青, 等. 中国生物质资源潜在可利用量评估[J]. 三峡环境与生态, 2010, 32(5): 38-42, 62.
- [5] 刘志斌, 任爱胜, 高春雨, 等. 中国农业生物质资源发电潜力评估[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(4): 133-140.
- [6] 中华人民共和国财政部. “十二五”农作物秸秆综合利用实施方案[EB/OL]. http://www.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefabu/201112/20111221_617842.htm.
- [7] 杨丽. 2013年全国生物质发电年利用小时数统计[R/OL]. http://red.renewable.org.cn/9080/RED/report/pdf_297e648f44-5cc4e00144e403252d012a.html.
- [8] 贺仁飞. 中国生物质能的地区分布及开发利用评价[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [9] 袁振宏, 吴创之, 马隆龙, 等. 生物质利用原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [10] 全国能源基础与管理标准化技术委员会. 综合能耗计算通则: GB/T 2589—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 4.
- [11] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [12] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2013[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [13] 国家林业局. 中国林业统计年鉴 2011[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [14] 可再生能源信息网. 数据库—生物质能—项目信息[EB/OL]. <http://red.renewable.org.cn/9080/RED/search.action?index=2&db=3&orderCol=dt>.
- [15] 马翠梅, 李士成, 葛全胜. 省级电网温室气体排放因子研究[J]. 资源科学, 2014, 36(5): 1005-1012.

原文地址: <http://www.china-nengyuan.com/tech/185450.html>