

# 我国秸秆发电的影响因素及对策

傅友红, 樊峰鸣, 傅玉清

(北京盛昌绿能科技有限公司, 北京 100016)

**摘要:** 针对当前能源紧缺的现实, 结合国内外秸秆发电的现状, 论述分析了我国发展秸秆发电的可行性和必要性. 在此基础上, 指出了我国秸秆发电中存在的问题, 并提出了相应的对策和措施, 对促进秸秆发电产业的健康发展具有一定借鉴和指导意义.

**关键词:** 秸秆; 生物质; 秸秆发电; 收集半径

中图分类号: TK01

文献标识码: A

文章编号: 1673-1603(2007)03-0206-05

我国是一个农业国家, 秸秆资源非常丰富, 每年产生的农作物秸秆资源量超过6亿t, 可以作为能源的秸秆达3亿t以上. 其中约40%被视为“废弃物”, 大部分废弃秸秆被农民或农场主在田野焚烧, 不仅严重污染环境, 而且造成了生物质能源的极大浪费. 专家认为, 解决生物质能源浪费的唯一出路在于商品化<sup>[1]</sup>. 秸秆发电技术, 不仅可以为农村提供更多的电力, 更有意义的是将使生物质资源的商品化成为可能.

国家发改委《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》规定: 生物质发电项目上网电价由传统上网电价加补贴电价组成, 补贴电价标准为每kW·h补贴0.25元. 国家中长期可再生能源发展规划提出: 我国到2010年将实现200万kW的生物质发电容量, 到2020年将实现1000万kW的生物质发电容量. 这些决策为我国秸秆发电增加了强大的发展动力, 推动了秸秆发电产业的蓬勃发展.

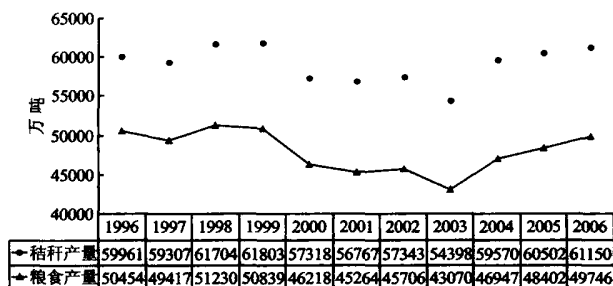
## 1 我国秸秆发电的可行性

### 1.1 我国秸秆资源充足

我国目前农作物种植面积达15亿亩以上, 秸秆产量非常丰富, 近年来粮食与秸秆产量的变化趋势见图1.

从图1中可以看出, 多年来我国农作物秸秆产量均在6亿t左右. 2006年我国粮食产量超过4.9亿t, 据估算, 农作物秸秆总量约为6.5亿t, 小麦、玉米、水稻、棉花、大豆、薯类、油料等主要农作物秸秆量达到6.1亿t. 另外, 我国还有约1.2亿t的稻壳、蔗渣、花生壳等农加工剩余物. 据农业部对粮食产量的预测, 到

2010年和2020年我国主要农作物的秸秆总量将分别达到7.2亿t和8亿t.



注: 据中国农业年鉴及中国统计公报整理  
注: 据中国农业年鉴及中国统计公报整理

图1 中国秸秆与粮食产量变化趋势

我国农村主要有水稻秸秆、小麦秸秆、玉米秸秆, 粮食作物秸秆占90%以上. 其中玉米秸秆占37%, 水稻秸秆占28%, 小麦秸秆占15%. 50%以上的秸秆资源集中在四川、河南、山东、河北、江苏、湖南、湖北、浙江等省; 稻秆主要在长江以南, 而小麦和玉米秸秆主要分布在黄河与长江流域以及黑龙江、辽宁和吉林省.

秸秆的大规模能源化利用是大势所趋, 势在必行, 符合我国国情, 秸秆供热、秸秆发电或秸秆热电联产是规模化利用秸秆较为成熟的技术.

### 1.2 秸秆发电技术日趋成熟

国内外秸秆发电已经过了几十年的发展, 其发电技术基本成熟, 主要发电形式有3种: 秸秆直燃发电、秸秆与其他燃料混燃发电、秸秆气化发电.

#### 1.2.1 秸秆直接燃烧发电

直接燃烧发电是指把秸秆原料送入锅炉中燃烧,

收稿日期: 2007-01-15

作者简介: 傅友红(1952), 男, 郑州人, 高级经济师.

产生蒸汽,驱动蒸汽轮机,带动发电机发电<sup>[2]</sup>。秸秆直接燃烧发电技术已基本成熟并进入推广应用阶段,这项技术在规模化情况下效率较高,单位投资也较合理;但是受原料供应及工艺限制,发电规模不宜过大,以不超过30 MW为宜。

丹麦秸秆直接燃烧发电技术处于世界领先的地位,运行和在建的秸秆直燃热电厂有十几家,还有一部分烧木屑和垃圾的发电厂也能兼烧秸秆。

利用丹麦的技术,英国建设了世界上最大的秸秆直燃电厂,装机容量38 MW,年消耗秸秆约30万t。为方便运输和储存,该秸秆电厂统一接受“Hesston”包,规格为 $120 \times 130 \times 240 \text{ cm}^3$ ,重约520 kg,平均密度大约在 $130 \text{ kg/m}^3$ 。为降低炉排的温度和便于排渣,采用水冷振动炉排;过热器采用独特的布置和新型防腐材料,降低了结渣和腐蚀风险,蒸汽温度从 $450 \text{ }^\circ\text{C}$ 提高到 $540 \text{ }^\circ\text{C}$ ,蒸汽压力也从6 MPa提高到9~11 MPa,从而提高了发电效率。

巴西和印度是发展中国家利用农业生物质直接燃烧发电比较好的国家。截至2002年,巴西生物质发电装机容量为1 675 MW,其中蔗渣是主要的锅炉燃料,约占生物质发电总装机容量的94%。印度的蔗渣直燃电厂总装机容量达710 MW。东南亚国家在稻壳、蔗渣和棕榈壳等其他农业生物质直燃发电方面也取得了较大的发展。

我国引进丹麦技术在山东建设的第一座生物质发电厂——山东单县秸秆发电厂,已于2006年12月1日点火发电,燃料以粉碎的棉花秸秆为主,设计负荷为25 MW,预计每年可消耗秸秆20万t以上。

### 1.2.2 秸秆混燃发电

混合燃烧发电包括直接混合燃烧发电、间接混合燃烧发电和并联混合燃烧发电3种方式。直接混合燃烧发电是指秸秆燃料与化石燃料(主要是煤炭)在同一锅炉内混合燃烧产生蒸汽,带动蒸汽轮机发电,是秸秆混合燃烧发电的主要方式,其技术关键为锅炉对燃料的适应性、积灰和结渣的防治、避免受热面的高温腐蚀和粉煤灰的工业利用等。间接混合发电是指秸秆原料首先经过气化产生可燃气,然后可燃气再进入炉内共同燃烧,产生蒸汽发电。并联混合发电是指秸秆在单独的锅炉内燃烧产生蒸汽,蒸汽再经过传统燃料进一步过热,然后再发电。后2种方式都可以降低秸秆燃烧过程中的结渣和腐蚀的风险,秸秆和煤的灰也可以利用,便于计量秸秆发电量,但投资、运行和维护费用要比直接混合发电高,产业化应用较少。秸秆混合燃烧发电可

以建设较大规模的发电厂,甚至可以达到大型燃煤电厂的规模。

国外混合燃烧发电的生物质原料绝大部分是林业生物质,农业秸秆仅占10%左右。在现有电厂煤粉锅炉(PF)中混燃发电是主要方式,利用流化床锅炉(CFB和BFB)混燃生物质发电也得到了一定的发展。当直接混燃燃料秸秆比例小于20%时,现有燃煤锅炉不需要大的改造,对锅炉稳定安全燃烧影响不大。该工艺技术成熟,投资低,改造费用一般在400~2 400元/kW,同时还有燃料来源灵活、运营风险小和秸秆热转化效率高优点。

美国是直接混燃生物质发电规模最大的国家,目前约有40多座示范和商业运行的混合燃烧电厂,其中30多座是在煤粉锅炉中直接混燃生物质,原料多以林业生物质和能源植物为主,掺烧比例大多在3%~15%之间。

德国在煤粉锅炉中直接混燃污泥技术已经投入商业运行,正在试验混燃秸秆和木片。

荷兰从1993年开始进行直接混燃发电试验,大多掺烧木片和污泥,掺烧比例保持在10%左右。

丹麦的秸秆直接混燃发电技术已经商业化运行。实践证明,当混燃10%的秸秆时,系统可安全可靠的运行;当混燃7%的秸秆时,没有发现脱硝反应催化剂中毒失活的迹象;当混燃20%的秸秆时,受热面腐蚀速度明显比燃煤时加快,具有较大的风险<sup>[3]</sup>。

芬兰和瑞典利用循环流化床锅炉将林业生物质、泥草炭和煤的直接混燃发电已经商业化运行,通常混燃生物质的比例大于20%。为示范推广多燃料直接混燃发电技术,芬兰和瑞典还联合建立了世界上最大的生物质循环流化床锅炉热电厂,最大供电功率为240 MW。该锅炉原料适应性广,可完全燃烧煤,也可完全燃烧生物质,通常混燃林业生物质的比例在50%左右。为了便于运输和储存,森林生物质都打成 $\Phi 71 \text{ cm} \times 300 \text{ cm}$ 的圆捆,重约450 kg。

我国山东省华电国际十里泉发电厂,引进丹麦的秸秆发电技术,对140 MW机组进行了秸秆燃烧技术改造,已于2005年底投产运行。改造后按年运行7 000 h计算,每年将燃烧10万t秸秆。

### 1.2.3 气化发电

气化发电是在气化炉中将秸秆原料气化,生成可燃气体,经过净化,供给内燃机或小型燃气轮机,带动发电机发电。一般规模较小,装机容量小于6 MW。

秸秆气化发电是更洁净的利用方式,几乎不排放

任何有害气体. 中小型秸秆气化发电技术在发达国家已经成熟, 但由于规模小、过程复杂, 没有竞争力; 而其造价(1 200 美元/kW 以上<sup>[4]</sup>)和运行成本都较高, 也很难进入市场. 小规模秸秆气化发电适合秸秆的分散利用, 现已进入商业示范阶段.

瑞典建立了世界上第一个生物质整体气化联合循环发电示范项目(Varnamo B/IGCC), 技术示范已取得成功, 但因为成本过高、工程设计和运行管理方面的问题, 已停止运行<sup>[5]</sup>. 目前, 各国仍在继续研究生物质整体气化联合循环发电技术, 以推动其商业化进程. 我国的秸秆气化发电目前还处于探索示范阶段.

### 1.3 国内外秸秆发电规模

与其他可再生能源不同, 秸秆系统的经济性完全依赖于地点(如气候、土壤和农作物等)和转化技术. 综合各种因素分析, 考虑到我国的国情及耕作现实, 在我国进行秸秆发电一般装机容量不宜超过 30MW. 国内外部分秸秆发电厂规模及燃料对比见表 1.

表 1 国内外部分秸秆发电厂规模及燃料对比表

厂址	采用锅炉	装机容量	主要燃料品种
山东单县	丹麦委托济南锅炉厂加工	1×25 MW	棉秆, 辅以果木枝条等
	1×130 t/h 高温高压水冷振动炉排炉		
河北晋州	无锡华光锅炉	2×12.5 MW	玉米秆、小麦秆, 辅以果木枝条等
	2×75 t/h 中温中压水冷振动炉排炉		
江苏如东	丹麦技术	1×25 MW	稻秆和麦秆
	1×110 t/h 高温高压水冷振动炉排锅炉		
丹麦阿文多	高温高压水冷振动炉排锅炉	850 MW	木屑压缩颗粒等混合燃料
英国坎贝斯(Elyan)	丹麦技术; 最大秸秆直燃发电厂	38 MW	打包秸秆
山东十里泉	原锅炉采用丹麦技术改造	140 MW	煤、麦秆和玉米秆
	400 t/h		
福建莆田气化发电		1 MW	稻壳
江苏兴化 IGCC	1 台循环流化床气化炉	4 MW	稻壳和棉秆
	11×400 kW 和 1×600 kW 内燃机		
内蒙古奈曼旗林业生物质直燃发电	2×75 t/h 中温中压锅炉	2×12 MW	灌木黄柳、锦鸡儿

## 2 秸秆发电的必要性

### 2.1 我国秸秆的利用及影响

与发达国家相比, 我国利用秸秆的规模化技术和程度并不高, 利用量相对也很低. 据估计, 我国每年用于工业及造纸的秸秆约 0.3 亿 t, 用于饲料或饲料原料的约 2.1 亿 t, 造肥还田及收集损失 1 亿 t, 剩余可作为能源利用的秸秆总量约 3 亿 t, 若再考虑农加工剩余

物, 可作为能源利用的秸秆资源将达 4 亿 t. 目前, 我国农村约 2 亿 t 的秸秆是农民作为生活用能被低效率地烧掉了, 其余秸秆有的被随意堆放, 既存在安全隐患, 又影响村容村貌; 有的被就地焚烧, 既浪费资源, 又污染环境. 因此, 有必要采用积极合理的秸秆利用方式和技术, 提高秸秆利用水平和效率, 增加秸秆利用量, 扩大秸秆利用规模, 减少秸秆浪费和污染.

随着社会主义新农村建设进程的推进, 农村能源结构也将会出现较大调整. 秸秆作为能源在农村简单低效地利用已经不能满足日益发展的新农村的生活需要, 传统能源利用和优质能源比例将会加大, 秸秆闲置和浪费的现象将进一步加剧, 这将影响我国社会主义新农村建设, 制约农村经济的持续发展.

### 2.2 秸秆发电有利于我国优化能源结构

目前, 我国正面临能源短缺和环境污染两大难题, 能源消费结构严重不合理. 多年来, 我国能源消费构成中煤炭的比例, 一直占能源消费总量的 2/3 以上, 远远高于 23.5% 的世界平均水平. 同时, 我国还是化石能源非常短缺的国家, 人均煤炭资源 90 t, 仅为世界平均值的 55.4%; 人均石油可采储量 2.6 t, 仅为世界平均值的 11.1%; 人均可开采天然气 1 074 m<sup>3</sup>, 为世界平均值的 4.3%.

能源的生产和消费是我国大气环境污染物的主要来源, 煤炭使用过程中产生的污染是我国最大的环境污染问题. 废气排放中约 90% 的 SO<sub>2</sub>、85% 的 CO<sub>2</sub> 和 67% 的 NO<sub>x</sub>, 以及 80% 的烟尘都是由燃煤造成的. 另外, 能源在开采、炼制及供应过程中, 也会产生大量的有害气体、矸石、腐蚀性水、煤泥、灰渣和飞灰等, 并构成对工农业生产和生态环境的危害. SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO、烟尘等大气污染物形成的酸雨, 已对我国的经济发展造成了严重威胁. 到 2004 年底, 酸雨面积已超过我国国土面积的 40%, CO<sub>2</sub> 排放量达到 46 亿 t, 占全球排放量的 14%, 居世界第二位.

2006 年, 我国能源消费总量已达到 24.6 亿 t 标准煤. 如果不能有效调整能源结构, 煤炭的消费量还将进一步增加, 环境污染的控制任务将十分艰巨. 因此, 提高生物质能源在能源消费中的比例是环境保护的必然选择.

## 3 我国秸秆发电存在的问题

我国秸秆发电技术还处于起步阶段, 关键技术及设备仍依赖进口, 燃料的供应也没有形成规范的市场和管理体制, 最早建成投产的山东单县秸秆电厂也只

运行了不足6个月,还有一些问题没有完全暴露出来,有待于技术人员进一步观察、研究和分析。目前,我国秸秆发电存在的主要问题集中于以下几点。

1) 秸秆发电与上下游配套产业发展不协调。用于直接燃烧发电的锅炉、燃料输送系统及设备主要依靠进口,这是制约我国秸秆发电快速发展的关键因素。

2) 秸秆资源的收集、运输、储存存在不少问题。受国情的影响,秸秆产量很大但是比较分散,秸秆密度小、体积大,不便储存和运输;秸秆种类多而难以统一收割和收集,同时受天气、季节和存放条件限制,都直接影响了秸秆发电的稳定性和可持续性。

3) 秸秆发电行业发展的金融、税收优惠政策还不健全。目前,国家和地方政府出台的可再生能源政策普遍存在可操作性不强,扶持政策难以落实,补贴渠道不畅通等问题,严重挫伤了投资者的积极性。

4) 上网电价难以支撑秸秆发电厂的正常运营,市场还没有真正形成。

5) 我国秸秆发电尚处于初始示范阶段,示范项目从立项、建设、发电上网到验收,还没有专门的管理办法,示范项目建设及验收没有相应的规范和标准。

## 4 我国秸秆发电的应对措施

### 4.1 秸秆收集

秸秆发电厂的投建与其他发电厂一样,首先要做好资源调查和评估。应根据秸秆的分布特点和燃料特性,因地制宜,统筹兼顾,合理规划秸秆发电的站址和规模,以提高秸秆的有效利用率,降低运营成本。在电厂建设中,应降低秸秆收集半径,减少发电成本。

#### 4.1.1 秸秆收集体系

我国秸秆发电采用的原料主要包括玉米秸秆、小麦秸秆和棉花秸秆及部分果园剪枝等。原料的物流体系在整个生产过程中至关重要。考虑到农业生产的季节性和中国农田分产到户的特点,北京某成型燃料厂在进行原料收集时采用了“公司+基地+专业户”的利益联结模式,值得借鉴。

“基地”是指原料供应基地。应选择与农场或种植面积较大的种植农户签订秸秆收购协议,及时足量收购,及时付款,以保证秸秆原料稳定持续供给。

“专业户”是指以基地为纽带建立起来的秸秆收购专业户。他们主要在不适合机械化大规模收割的小型田地或洼地,依靠个人组织人力手工收割或组织收集散落在田间地头的秸秆,经过简单打捆和晾晒,分批分段送至原料收集基地,后运至发电厂,厂方按照原料质

量制定收购价格。专业户应选择具有一定专业素质的个体农户,并由公司进行正规培训。

有了好的收集模式,还要有一套完整的收集保障措施。要避免原料收集供应断档、不连续,减少原料因质量不合格影响使用。北京某成型燃料厂的原料收集的过程采用了“理、情、利、令”的保障措施,收到了较好的效果。

理,即由乡镇政府组织,各村委会召集当地农民协商合作意向,并签订秸秆收购的合作协议。

情,即厂方对合作农村的农民给予感情投入,对其进行帮贫扶困,提供免费或低价医疗服务等,再通过对其农作物免费收割、清理田地、把秸秆运回工厂等,与当地农民建立感情,互惠互利。

利,即农民可以将自家生产的秸秆或收集的其他零散秸秆销售给厂方,获取利益,以增加经济收入。

令,即乡、镇政府将对项目给予政策支持,保障基地原料的供应;同时对浪费、焚烧秸秆并由此造成污染的现象加大处罚力度,堵住秸秆损失的源头。通过“理、情、利、令”这4个有效措施,保证秸秆稳定持续的供应,建立起牢固的原料供应体系。

#### 4.1.2 秸秆收集半径

收集半径可理解为秸秆运输成本小于承运商获利的最大距离,其直接影响发电规模和运营成本。收集半径的影响因素有秸秆价值( $P_1$ )、运输费用( $T$ )、当地劳动力机会成本( $C$ )以及秸秆到厂价格( $P_2$ )。

1) 秸秆价值。它是一个变量,当秸秆作为废物被遗弃在田间地头时,其价值为零;当作为燃料出售时,其价值不再为零,而是一个根据供求关系上下浮动的数值。秸秆价值与收集半径成反比。

2) 运输费用。是指运输秸秆的机动车辆在路途中发生的费用,包括燃油费、养路费、折旧费和维修费。运输费用与收集半径成反比。

3) 当地劳动力机会成本。它与当地的经济状况有关,经济条件好的地方,劳动力机会成本高;经济条件差的地方,劳动力机会成本就低。当地劳动力机会成本与收集半径成反比。

4) 秸秆到厂价格。它是指电厂或秸秆收购公司所定的秸秆收购价格。秸秆到厂价格与收集半径成正比。电厂或者秸秆收购公司由于自身的利益问题,不可能无限制提高秸秆到厂价格,所以收集半径也不可能无限制的增大。

以上参数必须满足这样的公式,承运商才愿意运送秸秆,即

$$P_2 \times G \geq P_1 \times G + C + T \times R \times 2 \quad (1)$$

式中  $G$  为秸秆质量;  $T$  为运输费用.

现以一般平原、经济条件中等的地区为例,假设 1 天运送 1 次,计算其收集半径.如果秸秆到厂价格定为 150 元/t(水分 20% 左右),一般三轮车 1 次可拉玉米秸秆 0.7 t 左右.现在油价 5.0 元/L,三轮车每 100 km 耗油 5 L,则单位燃油费为 0.25 元/km;农用三轮车养路费为 0.15 元/km;折旧费为 0.10 元/km;维修费为 0.15 元/km,所以运输费为 0.65 元/km.

秸秆的装卸需要 2 人来完成,再加上开三轮车属于技术工作,劳动力机会成本定为 60 元/天.

由于秸秆的价值很难估量,假设单位秸秆价值为 20 元/t.

根据以上分析,应用公式(1)可得理论收集半径  $R$

$$150 \times 0.7 \leq 20 \times 1.5 + 60 + 0.65 \times R \times 2$$

$$R \leq 11.5 \text{ km}$$

据测算,在理论收集半径范围内的秸秆可用量约在 20~ 30 万 t,如果采用合理的收集模式和方式,基本可以满足 1 个 25 MW 秸秆发电厂的燃料需求.

#### 4.2 加大自主研发,降低投资成本

目前,我国秸秆发电设备主要依靠丹麦等国家的进口技术和设备.丹麦的一个秸秆发电锅炉就占了发电厂成本的 30%,由于引进成本较高,设备投资过大,导致建站基本费用过高,以后的运行风险和维修成本更高;单纯依赖进口一方面影响我国秸秆发电产业的发展速度,另一方面制约了我国秸秆发电技术的创新和进步速度.

通过开展秸秆发电关键技术自主开发和相关设备自主研制,降低设备投资及建设成本,形成从秸秆收、储、运到发电一整套产业链,以促进秸秆发电的产业化.

#### 4.3 其他措施

应加快秸秆发电相关政策和标准的出台,吸引社会投资,规范和简化审批程序,加快秸秆发电项目尤其

是示范项目的核准,以示范项目带动秸秆发电整个产业链的发展;积累经验,提高我国在秸秆发电领域的科技水平,培养人才,促进秸秆发电技术的推广和应用.

要进一步落实对秸秆发电等可再生能源的保护和激励政策,全面考虑秸秆发电的综合经济效益、社会效益和环保效益,实行全成本定价办法,以促进其持续、健康发展.

要紧密结合社会主义新农村建设,建立秸秆综合利用的长效机制,通过发展秸秆发电使农民真正得到实惠,形成秸秆产业和市场,增加农民收入,改善农村环境,优化农村能源结构,从而带动农村生产模式和用能方式向现代化方向转变.

同时要加大科普和宣传力度,促进社会形成广泛共识;加强政府主导,建立协同机制,促进相关的多部门、多行业和多学科的联合与合作,促进产、学、研相结合,创造良好的发展环境.

## 5 结 论

秸秆发电技术已比较成熟,在国内外都有广泛的应用.根据以上秸秆资源及可收集秸秆比例测算,我国发展秸秆发电前景广阔,但也存在一定的风险.我国秸秆发电规模应以不大于 30 MW 为宜.同时还要因地制宜地制定发电工艺以及所采用的技术模式,建立健全完善的秸秆收储运体系,保障秸秆发电持续稳定的运行,造福于民,建设社会主义和谐社会.

#### 参考文献

[1] 小宫山宏, 迫田章义. 日本生物质综合战略[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.  
 [2] 贾小黎, 丁航. 秸秆直接燃烧供热发电项目上网电价初步测算[J]. 可再生能源, 2006(1).  
 [3] 姚向君, 王革华. 国外生物质能的政策与实践[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.  
 [4] 刘荣厚, 牛卫生. 生物质热化学转换技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.  
 [5] 李飞, 吴创之. 生物质整体气化联合循环发电系统的发展现状[J]. 可再生能源, 2006(1).

## Influence factors and resolution about the straw power generation in China

FU You-hong, FAN Feng-ming, FU Yu-qing

(Beijing Shengchang Bioenergy S&T CO., Ltd. Beijing, China)

**Abstract:** China is a giant agriculture country, with a great number of straw left every year. Straw fired power industry rise rapidly in recent years. This article will introduce the situation, perspective, influence factors and resolution about the straw power generation.

**Key words:** straw; biomass; straw power generation; collect range