

特色专题

准确定位生物质应用方向 ——生物质调峰、消纳、储能，耦合发电和生物质化工

程序¹, 颀二旺²

摘要 随着风、光伏发电在中国的快速发展,其调峰、消纳和储能问题日益尖锐。调峰离不开煤电,而煤电的低碳化改造主要依靠生物质能;提出了当前物理和电化学储能方式远不能满足风、光伏发电大容量、长时段储能的需要,而生物质是天然的物质化储能物。依靠电能,可以通过气化与合成转化出可长时段储存和方便长距离运输的各种气、液态生物质能;又能在需要为风、光伏发电调峰和调频时,随时驱动蒸气轮机发电。是就地、就近消纳风、光伏发电和长时储能的理想途径。此外,生物质气化技术的突破,又为发展类似现代煤化工和石油化工,但碳排放为零的“生物质化工”提供前提,能生产出多种化石基化学品的替代物。可再生能源和合成材料是生物质新的重要利用方向,准确定位的生物质应用将在中国的能源转型中起到越来越重要的作用。

关键词 功能定位;生物质与煤耦合发电;生物质长时储能;调峰;煤化生物质;生物质气化合成;生物质化工

在国际上,生物质能有煤炭、石油和天然气以外的“第四能源”之称。21世纪初,以“陈化粮”制燃料乙醇开端的中国生物质能产业,包括生物质直燃发电、生物燃油和生物天然气等,一直以(部分)替代化石能源为目标。然而,由于功能定位不准确和其他客观原因,生物质能产业的发展态势远远不如同期崛起的风能和光伏能。

为了实现“双碳”目标,中国正经历着历史性的能源转型。煤电低碳化改造和大力发展可再生能源是两大战略任务。燃煤发电历来是中国碳排放“第一大户”,尽管通过技术创新,全国范围内度电煤耗量和碳排放率大幅度降低,但对电力需求的持续增长和为

风、光伏发电调峰的巨大需求,导致2023年煤电仍占到全部发电量的近7成。与此同时,作为重要可再生能源的风、光伏发电,在连续数年超常发展后,其间歇性和不稳定性问题日益突出,已经造成调峰/调频、消纳和储能方面的问题,制约着可持续发展。碳排放量很大的石油化工亦需部分被生物质化工替代。当前,上述2大领域均迫切需求生物质发挥独特功能。亟需重新审视生物质的功能定位和发展策略,使其能在煤电低碳化改造,助力解决风、光伏发电的调峰/调频、消纳和储能问题,以及开创“生物质化工”新领域等方面,充分发挥独特和不可或缺的重要作用。

1 生物质能是煤电低碳化改造的重要依靠

2023年,中国的能源消费总量为57.2亿t标准

1. 中国农业大学农学院,生物质工程中心,北京100193

2. 新木生物科技集团,北京102606

收稿日期:2024-08-01;修回日期:2024-11-17

作者简介:程序,教授,研究方向为生物质工程、可持续农业与农村发展,电子信箱:chengxu@cau.edu.cn

引用格式:程序,颀二旺.准确定位生物质应用方向——生物质调峰、消纳、储能,耦合发电和生物质化工[J].科技导报,2025,43(7):48-53;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2024.11.01616

煤,引起的碳排放在中国总碳排放中的比重超过80%。而燃煤发电的电量占比为总发电量的66.3%。尽管近年来,煤电全行业已经基本完成了对高煤耗机组的超低排放技术改造,取得了重大成就。但煤电的耗煤量和二氧化碳排放量仍分别占煤消费总量和全国排放量的60%和42%。与此同时,随着风、光伏发电装机量连年跃进式增长,煤电的调峰/调频负担越来越沉重,导致发电用煤量不减反增。据统计,2023年新增光伏装机规模达到2.17亿kW;而相应新增火电的装机量亦高达5793万kW;且当年全国总核准的煤电装机量(相当于2024年新增数)预计在1亿kW左右^[1]。这一切使煤电低碳化的任务更加艰巨。

显然,电力行业减碳是中国实现“双碳”目标最关键也是最艰巨的环节。发电环节的安全清洁转型,则是电力行业面临的重大课题。

2024年6月24日,国家发展和改革委员会和国家能源局印发了《煤电低碳化改造建设行动方案(2024—2027年)》。提出了生物质(农林废弃物、能源植物、沙生植物)掺烧、绿氨掺烧、碳捕集利用与封存3条策略,这是经多年反复探索得出的宝贵认识。其中可行性较高的是前2条,且都与生物质有密切关系。十几年前,电力科技界就提倡通过生物质与煤掺烧(“耦合发电”)并逐步提高生物质的掺比,来减少煤电的碳排放;力主推行生物质与煤炭耦合发电,作为煤电碳减排的终极手段^[2]。

生物质与煤掺烧,国际上早有成功的案例。从20世纪末起,丹麦、英国等为完成《京都协议书》的减排承诺,制定了强有力的激励政策,探索出煤电行业生物质耦合发电的途径。经过20多年的实践,英国全国所有的大型燃煤电厂全部改造成为生物质混烧。最典型的是拥有6台装机容量高达660MW机组的Drax煤电厂^[3],从2003年开始在1台机组上尝试混烧5%的生物质起,不断增加生物质混烧比,最终实现了全部机组100%燃烧生物质颗粒燃料。因此英国政府才有底气宣称,2025年前关闭所有煤电(现已实现)。值得重视的是,该厂除了从美国进口木质颗粒燃料(每年约1000万t)外,还依靠在电厂周边农区大量种植高产的能源植物芒草,加工成为颗粒燃料就近供应^[4]。经过20年的努力,中国生物质颗粒(块)的装备已实现全部国产化,年生产产能已达

2000万t。能够跟上煤电低碳化改造用量增长的需要。

至于绿氨的应用。必须强调指出,采用风、光伏发电电解水制绿氢,加上从空气中分离的氮合成氨,虽然符合低碳“绿色”的要求,然而能效不理想和成本过高成为严重的障碍。如采用后文叙述的生物质气化-合成途径,制绿氢的成本可望控制在与化石能源制氢相近的水平,生物基氮成本也低,生物基绿氨便具有很强的可行性。

2 生物质能用于风、光伏发电的调峰、消纳和储能

风、光伏发电现已成为中国年产值数万亿元的巨大产业和新的出口大户;而且还要作为生态文明主要支撑点之一,支持建设中国式现代化而继续大力发展,是基本国策之一。

2020年以来,风、光伏发电量高速增长。新增装机量在连续多年年增率约20%的基础上,2022和2023年光伏发电量分别达到55%和140%。

然而2024年以来,若干地方新上风、光电项目遇到硬性配储和自行消纳规定,被迫叫停;一些地方对已建成风、光伏项目限时发电;风、光伏电装机量虽已超过发电总装机量的30%,但对全国电力的实际贡献率仅为12.38%。“光伏电进入冰河期”,光伏企业“活下去”“过冬”,裁员、停工休息、股价暴跌等负面消息不绝于耳。已占到光伏电装机总量近一半、作为今后发展主力的分布式光伏首当其冲受挫:国家电网停止全额收购(并网)义务,大批项目“急刹车”,暂停或取消,已建成项目限时发电。

2.1 大规模运行条件下风、光伏发电间歇性引发的问题日益严重

国内光伏行业的急速衰减,固然与产品价格战、产能过剩等“内卷”有关,但关键是光伏组件的“应用场景”出现了危机——随着风、光伏发电,特别是分布式光伏超常发展,其固有的间歇性和不稳定性问题日益起到制约作用:电网的容纳能力迅速达到临界点。不仅国内市场需求大幅下降,而且国际市场也面临着市场保护主义的威胁。根本原因则在于,本质属性为间歇式、不稳定的风、光伏发电量巨大,电网的容纳量有限,又无法就地、就近消纳和长时储存。

问题的严重性在于,2022 年中国的风电和光伏装机总量才“不过”(实际绝对量已相当可观)分别为 3.65 亿 kW 和 3.93 亿 kW,就已经出现问题,今后会如何?清华大学和美国加州大学发表的一项联合研究表明,为实现碳中和目标,中国 2060 年需要拥有 20 亿 kW 风电和 39 亿 kW 的光伏装机容量,要比 2022 年的值高出约 10 倍^[5]。

在面临装机规模和发电量猛增,但电网的容纳量无法匹配的巨大挑战形势下,中央果断决策,要求“发挥新型举国体制优势,加强联合攻关”,解决长时储能这一大“短板”和“瓶颈”^[6]。

2.2 生物质就地消纳和长时储能是风、光伏发电发展的理想途径

“储能”是针对风电和光伏发电的间歇性和不稳定性,采用抽水蓄能、压缩空气和飞轮蓄能等措施,包括用电化学途径的电池储能方式,来解决短时间(小时级)的发电波动问题,具有一定的作用。而风、光伏发电真正需要的则是完全不同的“长时储能”。其所要求储存的电能,无论是时长或规模,均远非当前一般的储能措施可比。现今即便是最先进的储能装置,单机输出功率也仅为 1 万 kW 左右,而风、光伏电力的缺口通常是数千万 kW,彼此相差 3~4 个数量级,且储能时长只是 2~3 h。刘吉臻院士认为,当前的储能形式完全不能适应要求,其储量与风、光伏电量相比,就像几个矿泉水瓶和长江水的关系^[7]。

2007 年,诺贝尔化学奖得主乔治·A·奥拉曾指出,“人们常说人类面临着能源危机,这可能是一种误解。实际上地球并不缺乏能源。但如何储存能源才真正是一个危机”^[8]。20 世纪 90 年代,他就倡导用“甲醇经济”来解决储能问题。应说明的是,当时用化石能源制造甲醇引发的温室气体大量排放问题,尚未引起像如今这样的重视。

然而,虽然理论上甲醇能够储能,但发达国家现在普遍用天然气制甲醇,且碳排放量偏高,而中国绝大部分的甲醇则都来自煤炭。在“双碳”目标现已成为国策的情况下,常规的煤基甲醇更不可能真正起到储能的作用。

2.2.1 生物质独特的储能功能

生物质是一种理想的储能物质。它将太阳能转

化为生物化学能并以淀粉糖、纤维素和木质素等物质形态长期储存起来,可随时作为能源应用。而“生物质储能”专指在电能的辅助下,将生物质转化为固、气、液体 3 种形态的生物能源;在需要时随时转化为电能,从而为发电的调峰和电能长时储存提供了前提条件。但是,当前生物质能的这项独特的功能还远远未引起国内外有关业界的重视^[9]。即便有个别设想型技术路线提出,也只集中在生物质提供“绿碳”,与用风、光伏发电电解水得到的“绿氢”,合成多种绿色“电子燃料”(E-Fuels),即 Power-to-X^[10],但尚未证明该路线有经济可行性。

生物质能独特的储能功能未能发挥的原因之一,是热化学商品生物质能的制造尚未克服高效转化的难关。现时生物质能的转化除了直燃发电这一效率不理想的方式外,转化为非电商品能源的途径很有限。要么只是物理性变化加工的压缩成型颗粒(块)用于供热/暖;要么需要使用食用性粮、油作原料;而纤维素乙醇及合成生物柴油技术和经济性均还未完全过关,尚不能大规模商业化应用。

近年来,生物质热化学转化新技术的出现,使人们看到了这种状况彻底改变的曙光。而且这种技术能够使用“质量低”、但资源潜力极大的一大类生物质——木质纤维类生物质,使生物质高效转化和高值化利用的设想具备现实可行性。

图 1 设计了一种生物质长时储能(含生物质化工)的技术路线。其特点一是为风、光伏发电的就地大量消纳提供了出口,所产出的生物基气化-合成燃料(生物甲烷、生物基氨、生物基柴油等)的大部分可以安全地长时储存和运输;其二,已有的为风、光伏发电部分调峰和调频服务的燃气轮机煤电站,得以改为用自产的小部分的生物质气化合成燃料,随时启动进行调峰和调频。

2.2.2 克服生物质气化技术难关是实现生物质储能潜力的关键

由图 1 可见,生物质储能技术路线的核心环节,在于生物质高效气化制合成气。当今,要使生物质热化学转化技术真正具备商业化应用可行性,尚需解决一大难题——生物质的高效气化。

全球范围内生物质气化技术的研发已有 200 多年的历史。由于焦油多,合成气的 H_2 、CO 含量低,分

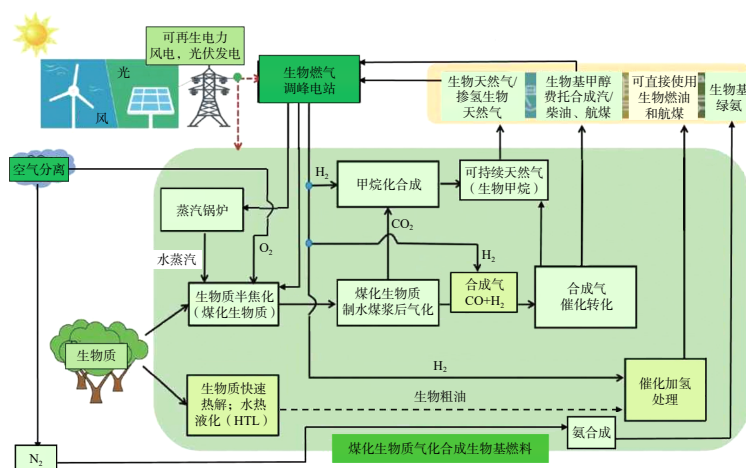


图1 生物质长时储能和生物质化工的技术路线

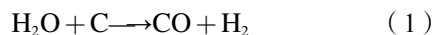
离纯化难等问题未得到解决，一直未能大规模地得到应用^[11-12]。

生物质高效气化的前提，在于克服其2大弱质性：(1) 容积密度过低，不具备工业化生产必须的气流输送性；(2) 能量密度低，难以达到高效气化所需要的高温，因而合成气的有效组分(H_2 和 CO)很低。采取对生物质原料改性、提质，可能成为突破点^[13-14]。

已有的生物质原料预处理和改性的方法有压缩成型，蒸汽汽爆和水热碳化等。但迄今尚未完全解决气化的低效和高成本等问题。近日，中国研发的“煤化生物质(coalificated biomass)”（又称“生物半焦”）改性技术取得了重大突破。

简要地说，“煤化生物质”技术是木质纤维类生物质在亚临界压力和温度条件下，极短时间内通过水热反应（“迁移水反应”）完成部分煤化变性的过程。产物为细粒状，氧含量降低而氢含量增加，能量密度和容积密度均得到提高；同时，煤化生物质具备了气力输送性，从而从根本上克服了多年来难以解决的生物质无法高效工业化气化的2大障碍。

以煤化生物质为原料，使用加压气流床气化反应器（当前现代煤化工工艺使用），能够满足规模化生产和高温($\geq 1200^\circ C$)气化的要求，解除了以往生物质气化一直难以解决的规模有限、温度不足及多出焦油/杂质、有效组分含量低等制约。能满足生物质通过“水蒸气变换反应”即“迁移水反应”，低成本制成富含 H_2 和 CO 合成气的要求：



2.2.3 基于煤化生物质气化-合成的储能、消纳方案

运用煤化生物质技术、加上采用现代煤化工现成的专用气化炉，就地消纳1 GW(1000 MW)风电。建立煤化生物质加工厂-气化厂-生物甲烷合成厂-空气分离设备自备电站联合体(某在建项目)方案如下。

建3条生产线：生物质-煤化生物质-生物基合成气(130万t，折18亿 m^3)-可持续氢基气体能源(包括：绿氢、绿甲烷、绿氨和绿甲醇等单体)。

共计用已有风电1 GW装机，包括生物合成气自备调峰发电在内，年用电24.5亿 $kW \cdot h$ ；消耗生物质原料156万t(产煤化生物质120万t)；产出67万t生物天然气，附产100万t液氨，投资4.5亿元。

经调制后，可生产新一代车用/民用生物天然气(掺氢生物甲烷)，城镇用/工业用/发电用绿色燃气，以及生物汽、柴油等。

为克服生物质原料多高度分散、难以经济地收集和运输的弊端，某项目设计的，是在当地不宜种植粮棉油的边际土地(沙地)大面积种植能源灌木的方案。即年约需用的灌木和草类(包括秸秆)生物质为156万t。主要使用当地面积达数百万亩的天然/人工种植柠条(学名锦鸡儿)，以及扩种山桃、野山杏等灌木。就全国而言，在大规模种植能源植物加上充分收集农林废弃物的情况下，中国生物质年资源潜力有40亿~50亿t，设使用一半，按照此原料需量，理论上可提供对1600 GW装机的全部储能能力(2022年全国风、光伏发电的装机量是750 GW，需要长时储能的只是其中一部分)。

3 碳排放为零的“生物质化工”优越性大

“现代煤化工”之所以获得成功,主要是突破了煤特别是“低阶煤”(生物质成煤过程“煤化”不充分造成,如褐煤)的改性、气化技术/装备和烯烃类的合成技术,可生产大部分石化产品。煤的气化获得主要含 H_2 和 CO 的合成气;煤化生物质气化后获得的也是类似的合成气,为其发展“生物质化工”铺平了道路。

“现代煤化工”一开始以“煤制油”和“煤制气”为主,现在重点正在转向生产高值合成材料。

石油化工产品是最重要的基础原料。“少油缺气”的国情迫使中国大量进口石化原料。2015 年乙烯的对外依存度为 50.4%、芳烃 56%、乙二醇 67%。煤化工取得突破后,情况有了较大改善:煤制甲醇,而后制烯烃(乙烯,丙烯等),2020 年产量 1590 万 t;煤制油,以“费-托合成柴油”为代表,2020 年产量约为 1000 万 t;煤制天然气,2020 年产能 47 亿 m^3 (天然气进口依存度超 40%);煤制乙二醇,2020 年产能 597 万 t(仍需大量进口);煤制醇醚燃料(二甲醚,乙醇等),2020 年乙醇产量为 987 万 t;煤制芳烃(苯,二甲苯等),年进口量超 1000 万 t;煤制芳烃年产能已达 200 万 t 以上。

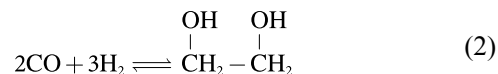
近年出现的生物质热化学转化和生物质高效气化两大技术突破,使得大规模生产新的生物质能品种和生物基合成材料成为可能。

中国 3 大合成材料——合成纤维、合成橡胶和塑料用量巨大,原料均来自高碳排放的石油(约占原油消费量 1/4)。其中塑料年产量近 8000 万 t;合成纤维的年产量则为 600 万 t。生物基合成材料能间接替代石油、天然气,增值效应显著,应发展出“生物质化工”新产业。

以可降解的食用级塑料瓶为例。当前塑料瓶离不开 PET(对苯二甲酸乙二醇酯)塑料,中国每年要生产上百亿个 PET 饮料瓶,2018 年 PET 消费量高达 4436 万 t。PET 的成分——对苯二甲酸和乙二醇(需用石脑油转化)均来自石油化工。乙二醇的年进口量更超过 1000 万 t,而且因 PET 塑料非常难以降解,造成的“白色污染”日益严重。

生物基 PEF 塑料(呋喃二甲酸乙二醇酯)除了可自然降解和碳中性外,其他性质几乎与当前广泛应用的石油基 PET 完全一样,因此可替代 PET 塑料,近年

来受到发达国家热捧。它的 2 种成分分别是生物基呋喃二甲酸和生物基乙二醇。生物基呋喃二甲酸可以用粮食作物的副产物秸秆和玉米穗轴等,通过热酸水解得到羟甲基糠醛,再转化制成。而生物基乙二醇则可以用生物质气化产生的生物基 H_2 和 CO 合成。



普通的石油基塑料使用后 300 年也不降解,造成严重污染,生物基可降解塑料因此成为各国竞相研发的热点。2015 年 6 月,美国可口可乐公司在米兰世界博览会上宣传其推出的“全球首个完全用植物原料(甘蔗以及制糖废弃物)制成的 PET 塑料瓶”。其实,其只有一部分组分(呋喃二甲酸)来自生物质,而另一组分(乙二醇)仍是石化产品。因此尚不属于全生物可降解塑料,尽管如此,它在发达国家虽卖高价仍极受追捧。

又如绿色环氧树脂(epoxy resin),是一种分子中含有 2 个以上环氧基团的高分子聚合物,需将高性能的环氧树脂和高强度的碳纤维结合在一起制成复合材料,在涂料、复合材料、浇铸料、胶黏剂、模压材料和注射成型材料以及航空航天、汽车、船舶、建筑等领域得到了极为广泛的应用。其组分环氧丙烷和双酚 A 均来自石油化工炼制,中国年产量 150 万 t,进口 50 万 t。目前,几乎所有商品化的环氧树脂都来自于石油基,双酚 A 型环氧树脂(DGEBA)更是占到了其中约 90% 的产量。在“绿色化”大势下,发达国家追求用生物质资源来制备双酚 A 高聚物单体,进而合成生物基环氧树脂以替代石油基环氧树脂;中国科技人员也已取得了若干研发进展^[15-16]。

4 结论

风、光伏发电迅猛发展产生的调峰、调频和长时储能需求,为生物质功能的发挥和高质量利用提出了新思路。生物质能是可再生能源中唯一具有物质载体的能源,又是唯一属“零碳排放”的能源。这 2 项独特的优势究竟如何充分地发挥,涉及对生物质主要利用方式的准确定位。现已可确定的是,生物质能对化石能源的替代潜力很大。应在实现“双碳”目标、特别是助煤电低碳化改造和间接替代化石能源(如生物质化工)方面,开发更多的应用场景。而不是将利用的重

点放在直接替代化石能源和与之竞争上。生物质能的利用重点应是供热/暖、生物天然气和特种生物基合成燃油。在准确的定位指导的发展路线引导下,相信生物质将在中国的能源转型中起到越来越重要的作用。

参考文献 (References)

- [1] 2023年中国能源电力发展综述[EB/OL]. (2024-03-06)[2024-07-25]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1792738367599181783&wfr=spider&for=pc>.
- [2] 倪维斗, 石元春. 生物质能在中国实现碳达峰与碳中和的巨大潜力[N]. 中国电力报, 2021-10-01(2).
- [3] Drax Group. Carbon management and oil and gas research project review[EB/OL]. (2021-08-19)[2024-07-25]. https://netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/21CMOG_CDRR_Drayton.
- [4] 全球最大的生物质耦合发电厂英国Drax电厂[EB/OL]. (2020-07-19)[2024-07-25]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=167255-9268700507573&wfr=spider&for=pc>.
- [5] 清华大学: 2060年长时储能装机可达到3亿千瓦规模[EB/OL]. (2024-03-18)[2024-07-25]. <http://m.hnyfenergy.com/nd.jsp?id=70>.
- [6] 刘吉臻: 应重估储能地位!风光配储利用率低, 如何突破“能源不可能三角”?[N]. 华夏时报, 2023-09-28.
- [7] 中央政治局集体学习释放加快能源结构转型积极信号[EB/OL]. (2024-03-02)[2024-07-25]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1792409757593727604&wfr=spider&for=pc>.
- [8] Olah G A, Goeppert A, Surya Prakash G K. Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy[M]. Hoboken: Wiley, 2009.
- [9] Schipfer F, Mki E, Schmieder U, et al. Status of and expectations for flexible bioenergy to support resource efficiency and to accelerate the energy transition[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2022, 158: 112094.
- [10] Xu C B. Roles of bioenergy and green hydrogen in large scale energy storage for carbon neutrality[J]. Engineering, 2023, 29: 32-34.
- [11] Molino A, Chianese S, Musmarra D. Biomass gasification technology: The state of the art overview[J]. Journal of Energy Chemistry, 2016, 25(1): 10-25.
- [12] Bruggers J. Fulcrum bioenergy, aiming to produce 'Net-Zero' jet fuel from plastic waste, hits heavy turbulence[EB/OL]. (2024-03-02)[2024-07-25]. <http://2023-go.gale.com>.
- [13] Kim D, Lee K, Park K Y. Upgrading the characteristics of biochar from cellulose, lignin, and xylan for solid biofuel production from biomass by hydrothermal carbonization[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2016, 42: 95-100.
- [14] Liu Z G, Quek A, Kent Hoekman S, et al. Production of solid biochar fuel from waste biomass by hydrothermal carbonization[J]. Fuel, 2013, 103: 943-949.
- [15] Janvier M, Hollande L, Jaufurally A S, et al. Syringaresinol: A renewable and safer alternative to Bisphenol A for epoxy-amine resins[J]. Chem Sus Chem, 2017, 10(4): 738-746.
- [16] 林壮, 宫红, 王锐, 等. 双酚酸在材料中应用的研究进展[J]. 塑料工业, 2018, 46(12): 1-5.

Accurately position the application fields of bioenergy: Wind and photovoltaics power's peak-shaving, consumption, long-term power storage, co-firing power generation, and biomass chemical industry

CHENG Xu¹, JIE Erwang²

1. Biomass Engineering Center, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China
2. Xinmu Bioscience & Technology Group, Beijing 102606, China

Abstract With the fast development of wind power and photovoltaics, the issue of electricity peak-shaving, utilizing in situ and power storage has become more and more urgent. Peak-shaving depends upon coal power generation while the decarbonation of power generation has been proved to finally rely on biomass co-firing. On the other hand, current technologies of power storage cannot fit the huge requirement of big-volume and long-term power storage. Since biomass is natural power storage matter, it can be transferred to syngas through electricity-driven gasification, then converted to gaseous and liquid bioenergies which can be both stored for long time and shipped for long distance. In case of peak-shaving for wind power and photovoltaics, they can be transferred to power through steam turbine easily and immediately. Besides, the breakthrough of biomass gasification makes it possible to establish the "biomass chemical industry" characterized with zero CO₂ emission, as well as to produce something to substitute petrochemicals, so as to save oil indirectly. In conclusion, biomass will play a more and more important role in energy transformation of China.

Keywords function positioning; biomass co-firing with coal for power generation; biomass long-term power storage; peak-shaving; co-calcified biomass; biomass gasification and synthesis; biomass chemical industry ●



(责任编辑 徐丽娇)