

★ 高技术前沿

春分时节,位于黑龙江延寿县某热电厂交出了一份亮眼的成绩单——自去年12月投产至今,借助高温高压循环流化床生物质锅炉技术,企业已将9万余吨秸秆、稻壳等田间废料,转化为5000余万度绿色电能和44万吉焦清洁热量,销售给了当地的热力公司,实现了能源保障与生态效益的共赢。

这一县域项目的成功,正是我国生物质能利用方式从传统粗放向高效清洁转变的生动缩影。

如今,生物质能技术已告别“薪柴直燃”的原始形态,发展成为融合“高效清洁能源转化、全链条碳循

环”的绿色高新技术,正朝着高价值化、智能化、集成化的方向飞速发展。

放眼世界,面对能源转型这一课题,生物质能已成为多国竞逐的新赛道。据世界生物质能协会《2025年全球生物质能源统计报告》显示,全球生物质能源供应已创历史新高,在生产生活诸多领域的应用正不断拓展,助力人类建设清洁美丽的低碳世界。

那么,这股来自大自然的生物质能,走过了怎样的发展之路?相比其他能源,它的核心优势是什么?未来又将如何改变我们的生产生活?请看本期关注。

生物质能——

藏于山川田野的能源密码

■杨正中 赵家毅 史季龙

从薪柴到新能源的千年进化之路

生物质,是大自然中植物借助光合作用生成的有机物质。

通俗地说,我们身边随处可见的田间秸秆、林间木屑、养殖场的畜禽粪便、家里的厨余垃圾,还有各类动植物的残体与代谢产物,都属于生物质的范畴。生物质把能量锁进遍布山川田野的有机物里,是自然界中分布最广、最接地气的能源载体。

事实上,人类利用生物质的历史,几乎和人类文明史一样长。生物质的发展历程,本质上是人类从“靠天用火”到“科技赋能”,不断解锁能源潜力的过程。

早在远古时期,先民钻木取火、用薪柴烧饭取暖的过程,就是人类利用生物质能的最原始方式——通过燃烧植物里储存的有机物质获取热量。

此后数千年,薪柴始终是农耕时代人类核心的能源来源。此时,生物质能的应用,还停留在“直接燃烧”的初级阶段。

直到19世纪末,工业化浪潮推动生物质能迈出了关键一步。欧洲率先尝试将“木材气化”用于动力驱动,让生物质能跳出了“烧火取暖”的局限,正式开启了工业化利用的探索时期。

20世纪70年代,全球石油危机的发生,促使生物质能开始规模化发展。为了摆脱对石油的依赖,当时世界各国纷纷把目光投向可再生能源。凭借原料易得、应用场景广的特点,生物质能成为全球研发的重点。美国、巴西率先发力,推出生物质燃料乙醇,让生物质能正式进入交通燃料赛道;丹麦则建成了全球第一座规模化生物质热电联产电站,该电站可以一边发电一边供暖,满足丹麦每年约20%的电力需求。

进入21世纪,全球气候问题日益突出,碳中和成为各国共识。生物质能凭借碳循环优势,迎来了发展黄金期。目前,生物质能已成为德国供热领域的主力,占该国终端能源消费的8%~10%;瑞典用生物质燃料替代传统化石燃料,生物质能供热占比达50%;日本、韩国则把生物质能和垃圾处理结合,用餐厨垃圾、畜禽粪污发电,实现了环保与能源生产的双赢。

我国生物质能研发起步虽晚,但追赶速度极快,走出了一条贴合国情的特色发展道路。

上世纪80年代,我国率先在农村试点沼气技术,用秸秆、畜禽粪便发酵产气,解决了亿万农民的清洁做饭、照明问题;21世纪初,山东、江苏等农业大省率先建成秸秆直燃发电站,开启了生物质能的规模化应用;近年来,我国加快推进绿色低碳能源布局,2026年初,中国科学院李灿院士团队实现技术突破,该技术在常温常压下就能把湿秸秆转化为高纯度燃料,碳转化率超95%,促使我国生物质能技术跻身全球前列。

从钻木取火的火种到驱动万吨巨轮的绿色燃料,如今,生物质能已经成为全球能源转型的重要力量。



图①:黑龙江瑞和生物质热电联产项目正在进行发电作业。

图②:湖北省广水市观音村的一处生物质发电站设备。

新华社发

凭什么成为脱碳刚需

在风电、光伏、水电等可再生能源快速发展的今天,生物质能之所以能受到各国青睐,关键在于它具备其他能源无法替代的核心优势——真正做到了“取之于自然,用之于人类,还之于生态”。

生物质能与生俱来的“碳中和闭环”属性不可替代。相比于日常生活中煤、石油等化石能源,生物质能的原料来源为各类植物。

植物生长时,通过光合作用从大气中吸收二氧化碳,当植物燃烧时,又能将等量的二氧化碳释放出来。这一来一回,形成了完美的碳循环闭环,植物的整个生命周期不会增加排放额外的温室气体,真正做到了接近零碳排放。

更难能可贵的是,生物质能从源头就自带环保属性,是名副其实的变废为宝能手。它的核心原料,全是生产生活中本该被废弃的物料——田间地头无人处理的秸秆、林业采伐剩余的木屑边角料、养殖场的畜禽粪便、家家户户的厨余垃圾,乃至城市里的有机生活垃圾,都能成为生物质能的转化原料。

这些废弃物若不妥善处理,要么被露天焚烧污染空气,要么被随意填埋污染土壤水源,一直是环保治理的痛点。而生物质能技术,恰恰能把这些令人头疼的废弃物转化为清洁的电、热、燃气等,既解决了环境污染难题,又产出了实用的清洁能源,还能让农户通过售卖秸秆、废弃物获得额外收入,实现了环保、能源、增收的一举三得。

和其他可再生能源相比,生物质能还具备供能稳定性,从来不用“看天吃饭”。

我们熟悉的风电、光伏,其发电能力高度依赖天气变化:没风的时候,风机停转;在阴雨天或夜晚,光伏板无法发电……由于间歇性和波动性明显,

不少新能源只能用作能源体系的补充力量。

相比之下,生物质能完全不受昼夜和天气的影响。只要原料储备稳定,就能实现24小时、全年不间断的稳定供电,是可再生能源中少有的“基荷能源”,能直接扛起稳定供电保供的重担,无需依赖其他能源兜底保供。

除此之外,生物质能还具有极强的场景适配能力。它的应用范围几乎覆盖了社会生产生活的方方面面:在农村,它可以转化为沼气,满足百姓日常做饭、照明的用能需求;在城市,它可以支撑集中供暖,同时实现有机垃圾的无害化处理;在工业领域,它可以发电,替代碳排放高的燃煤锅炉;在交通领域,它可以转化为绿色甲醇、生物柴油,为长途重卡、远洋船舶提供清洁能源,破解脱碳难题;甚至在化工行业,它还能转化为各类化工原料,替代传统的石油基产品。

从乡村到城市,从农业到多个行业,生物质能广泛适配,逐渐成为推动低碳转型的重要抓手。

为低碳未来注入绿色力量

作为全球为数不多能同时实现“固碳、减污、保能源、促增收”的可再生能源,生物质能的发展前景被寄予厚望。不过,目前生物质能产业还处于成长阶段,想要实现更大规模的普及,还需要跨过几道关键关隘。

首先,收集、储存生产生物质能的原料困难,农林废弃物大多分散在农村,运输和仓储成本偏高,且收获期中,很难保证原料品质稳定;其次,生产生物质能的装备技术水平还有待提升,目前,国内生物质利用还是以直接燃烧发电为主,转化效率和附加值偏低。

不过,换个角度来看,这些挑战并非不可逾越,恰恰也是生物质能未来

的发展机遇。

从政策层面来看,全球各国都在为生物质能发展保驾护航。

欧盟明确提出,要把生物质能发展为供热与交通领域脱碳的核心支柱,2030年进一步提升其在可再生能源中的占比;美国也出台政策,为生物质能项目提供最高30%的税收抵免,推动产业化发展;在我国,“十五五”规划纲要明确提出,要因地制宜开发生物质能,培育绿色燃料新增增长点……

从技术与产业发展来看,生物质能的未来将朝着“高价值化、规模化、多元化”的方向稳步前进。

一方面,生物质能的核心转化技术将持续突破,比如,2026年我国首创的“风光制氢+生物质气化耦合”合成技术实现工业化落地,通过调节氢碳比,可高效合成纯度≥99.85%的绿色甲醇与可持续航空燃料,全流程碳排放量降低85%以上;生物质的利用将从“简单燃烧发电”的低附加值环节,向制造绿色甲醇、航油、高值化学品的高端赛道升级。

另一方面,生物质原料收集体系也将不断完善。借助“县域产业园+田间预处理站点”模式,工作人员可以实现就近处理农林废弃物,降低运输成本,同时带动农村能源转型和农民增收,让生物质能真正成为乡村振兴的重要抓手。

从应用场景来看,生物质能的舞台还将持续扩大。

在交通领域,随着远洋航运、长途重卡的脱碳需求越来越迫切,生物质能将成为该领域最具可行性的脱碳方案;在环保领域,生物质能将与有机垃圾处理、农业污染治理深度融合,真正实现“生态治理+能源生产”的双赢……

我们看到,生物质能这份来自大自然的馈赠,正在用科技的力量完成一场绿色蜕变。它不仅是全球能源转型的重要支撑,也是人与自然和谐共生的生动实践。未来,这份藏于山川田野的能源密码,还将持续为人类的低碳未来注入源源不断的绿色力量。

版式设计:孙鑫

14次冲向“死亡之海”

■张正铎

★ 科学家手稿

走进陆军军医大学校史馆,展柜中,一本名为《军事预防医学》的防原医学与病理学领域专著静静陈列,引人驻足。

这本246万字的著作,见证着中国工程院院士、防原医学与病理学家程天民与“核”的缘分,也见证着他曾14次冲向被称为“死亡之海”的新疆罗布泊、不顾个人安危参与核试验的感人故事。

程天民与“核”的缘分,始于1964年的那个秋天。那年10月16日,罗布泊试验场上,一朵巨大的蘑菇云挣脱地表束缚,裹挟着烟尘腾空而起。

这一天,我国第一颗原子弹爆炸成功,打破了超级大国的核垄断。程天民深知原子弹巨大的杀伤力,“超级大国的核弹头足以毁灭人类”。

深思熟虑后,程天民毅然请缨:希望利用我国核试验场,从事防原医学研究。他的请求得到了上级领导的同意与支持。翌年初春,他和同事们一起,风尘仆仆地奔赴大西北的戈壁沙漠,开始了长期而艰苦的探索……

戈壁深处的核试验场,条件极其艰苦。那里没有住房,程天民和同事们只能以帐篷为家。夜里,狂风经常掀翻帐篷,他们就爬起来,顶着狂风重新搭建帐篷,第二天依然精神抖擞地投入到紧张的试验准备工作中。

从1965年开始,一直到此后的15年时间,程天民先后14次深入戈壁滩参加核试验。在这14次历险中,程天民多次与死神擦肩而过。

最常见也最危险的,是面对核辐

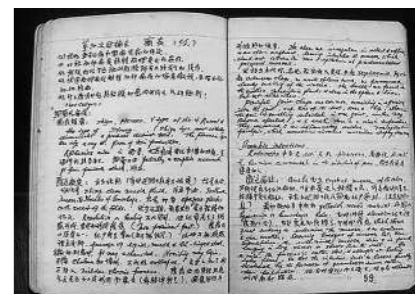
射。核试验中,效应动物身上总会沾染大量放射性物质。程天民在观察和解剖效应动物时,不可避免地受到射线照射。然而,为了获取第一手试验数据,他根本无暇顾及这些。

还有一次试验结束撤离途中,由于山路崎岖,程天民和同事们乘坐的车辆突然半个前轮滑出路面,悬在空中。车轮下方,是深不见底的山谷。他和同事们小心将车拉回后,继续赶往目的地。

多年后,程天民撰写的《核武器损伤的病理变化》专题报告问世,成为国内外这一领域最全面系统、最具学术权威性的病理学文献。2017年,程天民荣获被称为“中国医药领域‘诺贝尔奖’”的“吴阶平医学奖”。

国家需要,我必前行。有人问他“大漠黄沙,何美可恋?”程天民以诗作答:“大漠黄沙磨利剑,卫国安邦斩长鲸。”

14次冲向“死亡之海”,14次与死神擦肩。荒无人烟的戈壁滩上,程天民用毕生心血填补了我国防原医学领域的多项空白,用一身担当为我国的防原医学事业铸起了坚固盾牌。



程天民的工作笔记。

中国科学家博物馆供图

词元——

AI时代的“石油”

■江冉



最近,有个AI领域的概念常被提及——Token。前不久,国家统计局正式定名这一AI术语,将其翻译为“词元”。

3月30日,根据相关机构最新数据测算,此前一周期全球AI大模型总调用量为22.7万亿词元,环比增长11.2%。

那么,词元到底是什么?简单来说,词元是大模型处理信息的基本单位。大模型在接受用户输入的一个问题后,首先要将这些问题信息输入“分词器(Tokenizer)”,将其拆分成一个个词元,随后才能被大模型继续处理。

一般来说,一个汉字大约对应1~2个词元。那么,这些零散的、像“积木块”一样的词元,又是如何让大模型完成理解、推理乃至思考的复杂过程?

答案藏在概率的世界里。大模型的核心能力,本质上是基于海量数据,训练出“下一个词元是什么”的预测能力。当你输入一句话,大模型会将已有序列中的词元转化为数学向量,随后通过复杂的神经网络计算,预测出最可能出现的下一个词元。由此及彼,这个过程不断

迭代,一个字、一个词地“接龙”,最终生成连贯的回答。

我们可以把大模型想象成一位博览群书的“接话高手”。它读过互联网上公开发表的几乎所有文本,记住了词语之间常见的搭配规律。当你向大模型输入“今天天气真”,大模型随后会根据训练数据中“好”“不错”“热”等高频词语搭配,预测出概率最大的下一个词元。这种基于统计的“直觉”,让大模型能够生成流畅自然的语言。

同一时刻,词元更是AI时代的核心计价单位。这离不开大模型对算力成本的计算。大模型的每一次推理,都需要消耗昂贵的GPU算力与内存资源。处理一个词元,意味着大模型神经网络要进行一轮完整的矩阵运算。因此,词元的数量直接对应着计算资源的消耗量。可以这样打比方,词元正如工业时代计量电力的基本单位“度”,也如同互联网时代计量数据的基本单位“流量”,是量化AI服务成本最精细的尺度。

毫不夸张地说,词元可以称得上是AI时代的“石油”。未来,谁能更高效地管理词元的使用成本,谁就能在AI时代掌握发展的主动权。

★ 热点追踪

★ 新成果速递

3月25日,由国家自然科学基金委员会举办的2025年度“中国科学十大进展”在京揭晓。空军军医大学第一附属医院院士团队领衔完成的创新成果——“基因编辑猪肝植入人体突破物种器官移植壁垒”项目成功入选,成为2025年度全军唯一获此殊荣的成果。

器官移植是治疗终末期肝病患者的关键手段,但“一肝难求”往往让患者在等待中失去生命。异种移植被视为拓展器官来源的重要方向。2025年3月,中国科学院团队在《自然》杂志发表研究成果,报告了世界首例基因编辑猪肝植入人体、突破物种器官移植壁垒的成功案例。

据悉,该成果有力回应了“基因编辑猪肝能否替代人肝”这一关键科学问题,验证了多基因编辑策略、个性化免疫抑制方案和异位辅助移植术式的可行性,向全球异种移植贡献了中国方案,为未来异种移植临床应用奠定了坚实的技术支撑与理论基础。

空军军医大学第一附属医院研究成果入选「中国科学十大进展」

■任伟锋 双乐