微波裂解设备及方法研究

赵保朝
（北京诺芯环境科技有限公司　北京　102299）

摘要：微波裂解的技术原理与微波炉相同，利用磁控管将电能转化成微波，以高频率的振荡射频穿透被分解物，使得被分解物内的极性分子快速振荡，产生大量的热量，这就是微波炉加热的原理。但微波裂解设备并不是要加热食物，而是依靠微波原理加热“生物质”，使生物能够快速大量分解，从而产出可利用的“生物质油”。微波裂解技术能够广泛地应用于工业系统：一方面，微波裂解可以促进废物的二次加工利用，产生更多的经济价值；另一方面，微波裂解在加工过程中污染较小，加工技术更为便捷，加工成本较低，更符合当前时代的发展需求。但微波裂解并非可以应用于全部的生物质，且产油率较低，可以采用添加辅助剂等方式增强产油率，本文将深入分析微波裂解设备及其工作原理和操作方法。

关键词：微波裂解；微波裂解设备；生物质

0　引言

随着经济的发展，人口数量的增加，“能源”成为当代社会运行最重要的动力保障。而我们目前所能获得的可循环利用能源，例如太阳能、风能等，由于技术限制，开发程度较低，所以目前主流使用的仍是短时间内不可再生的能源，例如煤炭、石油等。而生物质能是唯一可以转化为液体燃料的可再生能源，且在我们的生活垃圾中，存在大量的生物质能，这些生物质能可以被进一步加工，出产液体燃料，便于保存运输，能够缓解我国的能源压力，同时也能避免能源浪费。生物质的再加工，同样是一门技术，可以采用固体成型、沼气发酵、制乙醇、热解制气制油等方式，其中：固体成型能耗高、效率低；沼气发酵和制乙醇过程较慢，出产量较低；热解气虽然环保，但产出效率低，流程复杂，制造过程中耗电量较高。综合所有因素，最为环保、效率稳定、能耗低的方式就是热解制油，也就是微波裂解。利用微波原理，通过高射频引起生物分子的快速振荡，从而产生大量热量进行生物分解，最终提炼液体燃料。但同时，微波裂解也并非十全十美，它只能裂解部分生物成分，且需要使用添加剂使裂解充分，以达到更好的产出效果。本文将从微波裂解的原理及特性入手，深入分析微波裂解设备及方法。

1　微波裂解的概念

微波是一种高射频的电磁波，可以用于加热、干燥、杀菌，但它本身并不能发热。食物用微波炉加热时，其内部最先被加热，又因为微波穿透性强，使食物能在短时间内完成加热。而微波裂解就是将微波这一概念进行放大，将所加热的食物换成厨余垃圾等生物质。微波裂解设备可以看成一个大号的微波炉，当然，因为考虑到废气排放、资源回收等问题，在设备的设计上会有些不同，但整体工作原理是相似的。相较于其他生物质再加工的方式，微波裂解具有消耗低、更加安全环保、更便于操作等优势，因此被广泛地应用在资源再利用产业中，其研究方向和研究难点在于更高的加工效率及对生物质进行更全面地分解。

2　微波裂解的研究现状

2.1　微波裂解的加热方式及影响因素

微波裂解是指生物质在微波状态下进行热降解，最终分裂出固体生物质炭、液体燃料和可燃气体的过程。不同于传统的加热方式，微波裂解会对物料进行同时加热，其内部温度高于外部，有利于加热过程中气体的挥发，提高物料的分解程度和固体物料的焦炭反应，同时，微波裂解只需要基本的电能。

微波裂解会对内部物质产生热效应和非热效应，热效应就是分子振荡摩擦生热，而非热效应则包括了电效应、磁效应和化学效应等热效应以外的所有效应，例如微波无法穿透金属，会被金属反射，从而产生振荡电流，会导致设备内部着火甚至是爆炸等。此外，微波裂解针对不同的生物质所起到的分解作用也存在差异，主要原因是不同生物质的分解温度不同。

2.2　添加剂对微波裂解的影响

生物质原料通常为较弱的微波吸收体，也就是说微波裂解设备需要加大功率与操作时间，才能尽可能将生物质裂解，提高生物质的裂解率，获取更多的可回收资源，这对能源的消耗是巨大的，也影响生产效率。因此，

科学家们发现，可以使用添加剂来增加生物质的微波吸收性能，例如活性炭、碳化硅等，可以加强加热环境，从而提高微波裂解效率，目前，添加剂广泛地应用于微波裂解产业。因此，添加剂的使用与创新是当前微波裂解技术的主要研究方向，主要使用碳物质如碳氢化合物、焦炭等，根据生物质的不同，有针对性地进行研究开发，力求能够尽可能增加生物质的分解程度，获取更多的液体能源。

3　微波裂解设备的工作原理与设计要点

3.1　设备结构

微波裂解设备首先要具有较强的工作性能，能够装载大量被分解物；其次就是对液体燃料的收集与排放，因为如若液体燃料不能被及时排放，很容易在高温下燃烧。而燃烧还会引发操作安全问题，因此需要注入惰性气体进行安全隔离，综合多方面考量，工业上通常使用氮气进行分离；同时为了更好地把控温度，还需要一个测温装置，通常使用热电偶。所以一个基础的微波裂解设备，需要磁控管、热电偶、裂解腔、氮气罐及氮气阀。通过物料口将物料放入裂解腔，在裂解腔底部留下孔隙，方便液体燃料通过管道排除，同时在管道内注入氮气，确保操作安全。

3.2　计算方式

根据物料的不同，微波裂解的时间与频率也有所不同，也要考量物料含水量，因此不同情况下的加工模式是有差异的，需要经过精准的计算，目前通常使用的计算公式为：

$$Q_r=M[4.18X_1(T_2-T_1)+c_1(1-X_1)(T_2-T_1)+H_r(X_1-X_2)]/1000 \quad (1)$$

式中：M—物料的质量（kg）；

X_1—物料干燥前的湿基含水率；

X_2—干燥后的含水率；

T_1—裂解前温度；

T_2—裂解后温度；

c_1—物料不含水的比热容 [kJ/（kg · ℃）]；

H_r—物料的汽化潜热（kJ/kg）；

Q_r—裂解过程中所需要的热量（J）。

3.3　磁控管选择要点

对于微波裂解设备来说，磁控管是最重要的零部件，是设备的核心。针对不同的物料和不同的加工需求，所选择的磁控管也是不同的：功率过高，浪费电能，增加企业的运营成本；功率过低，无法对物料进行充分分解，同样造成浪费，还有污染。

磁控管的效率公式为：

$$\eta=\eta_c\times\eta_e \quad (2)$$

式中：η_c—回路效率；

η_e—电子效率。

电子效率指电机的工作效率，回路效率是指设备超出压力部分的高压介质传输到系统中低压部分的工作效率。通常状况下，脉冲式磁控管的效率在 8% ~ 52%，连续波磁控管的效率在 50% ~ 92%，因此工业上通常采用连续波磁控管来制作微波裂解设备。

4　微波裂解物料的特性及利用方法

微波裂解的主要对象是生物质，而所谓的生物质能，是指绿色植物通过叶绿素在光合作用下，将太阳能转化成化学能存储在生物质内部的一种能源。目前我们所需要裂解的生物质通常为农产品的生产加工废料，例如秸秆、木屑等，以及生活垃圾，例如厨余垃圾等，它们都蕴含着大量的生物质，这些物质从社会功能上来说，难以再产生有利的经济价值，刚好可以用来进行微波裂解，进一步提取资源价值。目前我们不会采用完整的绿植或食物进行裂解加工，因为裂解加工所能获得的能源非常有限，那样只能会造成更大的浪费，因此只能作用于有机废物中。

生物质能的利用方式有直接燃烧、热化学转换、生物技术转换、液化转换和有机处理五大类。直接燃烧利用率最高，但污染程度也是最大的，目前国家并不提倡这样的利用方式；热化学转换需要耗费大量的人力物力，同样也会造成环境污染，只用于部分特定情况；生物转换消耗时间长，利用率低，例如沼气；有机处理就是填埋加堆肥，污染较大，利用效率低；而液化技术，就是微波裂解技术，虽然目前效率较低，但环保且能进行资源的二次利用，产生较高的资源价值，也是目前国家最推崇的回收加工方式，在未来也会有更广阔的发展市场。

5　微波裂解设备的方法研究

5.1　微波裂解设备的工艺探究

5.1.1　影响裂解效率的因素

影响物料裂解效果的因素是多方面的，但最主要的有两个方面：一是物料的理化特性，指物料的种类、含水量、颗粒、燃烧率等；二是实验条件，包括设备环境、设备功率、原料对添加剂的吸收率、添加剂的选择等。根据相关实验可知，设备功率对于物料裂解效率影响最大，其他因素，特别是物料的理化特性，对于裂解效率的影响是微乎其微的，所以在实际加工中，企业应当更加注重裂解设备的加工功率。此外，由于微波射频可以渗透到物料的内部，因此尽可能扩大设备的物料承载量，能减少加工损耗。

5.1.2　无催化剂下裂解状态

催化剂通常的使用量占物料质量的 5% 左右，通过

相关研究可知，以木屑为例，无催化剂时焦炭、液体燃料、裂解气的产出率分别为 28%、37%、33%，其中，氢氧化钙的催化效果最为显著，相同时间内，液体燃料的产出率提高了 9 个百分点，因此我们可以得出，催化剂对于生物质物料的微波裂解是十分重要的。目前使用的催化剂主要有氢氧化钙、氯化钾、碳酸钠、磷酸二氢钾等，其中，氢氧化钙和碳酸钠能够有效地降低液体燃料中的有机酸，改善裂解油的酸性，提高裂解油的品质。

5.1.3 酸碱预处理对微波裂解的影响

生物质在经过酸处理后，可以有效提升固体产物焦炭的产出率，且酸度越高，焦炭的产出率就越多，而相对地，酸度越高裂解油的产量越少，而且呈明显的减少趋势。而随着物料中含碱度的提升，固体产物焦炭的产量明显下降，出油率也会小幅度下降，但下降得十分平缓，影响较小，而且裂解气体的产出明显增多。综上所述，无论是过酸还是过碱，都不利于裂解过程中液体燃料的产出，所以物料最好保持酸碱平衡。

5.2 不同生物质原料所需的设备特性

生物质主要有纤维素、半纤维素和木质素，它们能够产出液体燃料，但是不同的生物质中各种元素的含量也有差异，本文选取工业上常用的四类原料——花生秆、大豆秆、青竹和稻壳对设备控制性能进行分析。

5.2.1 不同原料裂解产物分布

生物质在裂解过程中的产出为固体焦炭、液体燃料及裂解气体，在设备功率为 900W 时，花生秆的产油量是最高的，达到 35% 以上，而固体焦炭产量仅为 20%，同时产出不可冷凝气体；稻壳产油量为 28%，固体焦炭产量与花生秆相同；大豆秆的产油量为 32%，仅次于花生秆；青竹最低。由此我们可以看出，能够产出油脂的农作物，其农业废料中能够获取的裂解油也越多，所需设备的排油量越高。

5.2.2 不同原料的加工流程反应

在微波裂解过程中，生物质要历经三个状态的变化，分别是脱水、有机分子裂解（出油）、焦化（产出固体碳化物质），三个过程的速率也能反映出生物质的微波速率。其中，油脂含量最低的青竹会率先进入有机分子的裂解阶段，同时也最快迎来焦化，其次是花生杆、稻壳、大豆杆，也就是说，花生杆不但出油率更高，且裂变反应也快，是非常适合进行微波裂解的生物质，拥有较强的能源回收性，所需设备的加工时间较短。

5.2.3 不同原料裂解温度变化

裂解温度的变化，反映了生物质原料的裂解速率，因为温度越高，越有利于促进生物质的裂解过程，所耗费的加工资源也就越少。而根据温升变化图可知，大豆的升温速度最快，其次是青竹、稻壳及花生；压强不变的情况下，最终保持平稳温度不再上升。对于设备来说，温升速度越快，分解所需的功率越低。

6 结语

综上所述，微波裂解是利用高频电磁波，对生物质进行二次加工，从而回收液体燃料的一种方式，而这种液体燃料，也是一种优质能源，广泛地应用于现代化工业中。裂解设备的重点在于工作功率，其次就是针对生物质原料特性进行加工设定，从而达到节约能源、减少浪费的目的。

参考文献：

[1] 罗朝阳，段军，何成奎，等．二次正交旋转组合设计优化花生秸秆微波裂解 [J]. 皮革与化工，2021,38(03):36-40.

[2] 苏昕，李志华，胡立皓，等．微波裂解腔体波导管馈口分布对废旧橡胶裂解的影响 [J]. 橡胶工业，2021,68(05):369-373.

[3] 罗朝阳．花生秸秆微波裂解产物特性研究 [J]. 皮革与化工，2021,38(01):26-30.

[4] 刘阿朋，李骅，张佳喜，等．微波裂解设备的设计仿真与工艺试验 [J]. 农机化研究，2021,43(10):121-125.

[5] 马晓．连续式微波裂解设备及方法 [J]. 轮胎工业，2020,40(08):457.

[6] 张佳喜，刘阿朋，李骅，等．棉花秸秆炭微波裂解生产设备研制 [J]. 农业工程学报，2020,36(08):219-225.

[7] 田延生，宋曦梅，刘升磊，等．微波裂解技术在废旧轮胎资源化上的应用 [J]. 山东化工，2019,48(14):87-89.

[8] 韩天竹，李欣，齐慧敏，等．仿真模拟技术在微波裂解技术上的应用研究 [J]. 当代化工，2018,47(09):1911-1915.

作者简介：赵保朝（1987.10-），男，汉族，甘肃陇南人，本科，研究方向：环境科技工程。