

基于生物质废弃物为原料的建筑材料研究

孙王虎^{1*} 孙誉宁² 许立¹ 张源¹ 马鑫¹

1 扬州大学建筑科学与工程学院, 江苏 扬州 225127

2 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230061

[摘要]针对农业秸秆、林业废物、生活垃圾等生物质, 焚烧处理会直接产生二氧化碳、粉尘等污染物, 秸秆还田、垃圾填埋不仅也会产生二氧化碳, 甚至还会产生温室效应更强的甲烷等问题, 在项目组的大量研究和国内外有关文献的基础上, 本课题提出了通过碳化将生物质中的有机碳转化为化学性质稳定的无机碳, 再利用碳化产物生产碳基材料, 并将碳基材料大量应用于建筑工程中的新路径, 这其中, 生物质废弃物的收集是前提, 合理的碳化工艺是手段, 碳基材料的广泛应用是关键, 减污降碳是目的。该路径不仅有利于实现碳达峰、碳中和, 也能节约资源, 具有重要的经济、生态与社会效益。

[关键词]生物质; 温室气体; 碳基材料; 碳化

DOI: 10.33142/aem.v4i12.7538

中图分类号: TU-023

文献标识码: A

Research on Building Materials Based on Biomass Waste

SUN Wanghu^{1*}, SUN Yuning², XU Li¹, ZHANG Yuan¹, MA Xin¹

1 College of Architecture Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu, 225127, China

2 University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui, 230061, China

Abstract: For agricultural straw, forestry waste, household garbage and other biomass, incineration treatment will directly produce carbon dioxide, dust and other pollutants, and straw returning to the field and garbage landfill will not only produce carbon dioxide, but also produce methane, which has a stronger greenhouse effect. On the basis of a large number of research by the project team and relevant domestic and foreign documents, This topic proposes a new way to convert organic carbon in biomass into inorganic carbon with stable chemical properties through carbonization, and then use carbonization products to produce carbon-based materials, and apply carbon-based materials in a large number of construction projects. Among them, the collection of biomass waste is the premise, the reasonable carbonization process is the means, the wide application of carbon-based materials is the key, and pollution reduction and carbon reduction is the goal. This path is not only conducive to achieving carbon peak and carbon neutralization, but also can save resources, and has important economic, ecological and social benefits.

Keywords: biomass; greenhouse gases; carbon-based materials; carbonization

引言

美国工程院院士 David T·Allen 指出,“大气中每千克甲烷的气候暖化效应是每千克二氧化碳暖化效应的120倍。虽然随着排放时间的增长,它会在大气中发生反应产生二氧化碳,但即使在排放20年后,每千克甲烷的暖化效应仍是二氧化碳的84倍,100年后仍是二氧化碳的28倍。因此,它在短期之内是非常强势的温室气体,需要我们给予极大的关注”。中国科学院刘毅研究团队的研究也表明,“在20年尺度范围内,甲烷的增温潜势是二氧化碳的84倍。甲烷的寿命仅有8-11年(约为二氧化碳的1/10),其减排能在较短时间内实现抑制全球升温过快的目的”。美国环境保护署的数据还显示,“在100年的时间里,一分子甲烷造成的温室效应将是一分子二氧化碳的28-36倍。大气中的甲烷浓度已经从2006年的1775亿分之一上升到2017年的1850亿分之一”。据世界气象组织发布的最新数据,2021年大气中甲烷浓度是1750年的5倍。

可见,无论是从温室效应还是在排放加速方面,人们在关注二氧化碳排放的同时,不能再忽视甲烷了。在2021年联合国气候大会上,《中美联合宣言》也明确指出,“两国特别认识到,甲烷排放对于升温的显著影响,认为加大行动控制和减少甲烷排放是21世纪的必要事项”。大会召开期间,“美国与欧盟还发起了由102个国家共同签署的‘全球甲烷承诺’,计划到2030年,将全球甲烷排放量在2020年的基础上至少减少30%”。为了减少甲烷的排放,国内外学者都进行了大量的研究,从能源、农业、废弃物三大方面入手进行甲烷减排已成为业内共识。

生物质在缺氧的环境内被降解并产生甲烷的过程俗称沼气发酵。研究表明,“在总排放源中,生物源占到80%,其余的20%称为非生物源。因此生物源的甲烷排放成为重中之重”^[1];农业“甲烷和二氧化氮排放分别占全国的50%和92%”“通过改良饲料可以降低奶牛和其他反刍动物在消化食物时产生甲烷”^[2],但是“人们正在释放更多的化石燃料排放,同时燃烧更少的木材和其他生物质,也是导

致甲烷增加的重要原因之一,因为燃烧产生的是二氧化碳,而生物质厌氧反应就会产生甲烷^[3]。新西兰科学家 Sara Mikaloff-Fletcher 也认为“最令人担忧的可能性是那些我们几乎无法控制的可能性,气温升高可能会促使湿地释放更多的甲烷,而大气化学成分的变化可能会减缓甲烷的分解速度”。于是,生物质,尤其是生物质废弃物的处理就成为甲烷减排的关键技术。

生物质废弃物主要包括农业、林业生产中的废弃物,以及生活垃圾等,广义上还应该包括残存在土壤中的植物根系、落叶等生物质。这些物质富含有机碳,在漫长、复杂的变化过程中,分解为化学性质稳定的单质碳的比例极小,绝大多数还是生成了二氧化碳、甲烷等碳的化合物。有研究表明“垃圾填埋的危害性要远大于焚烧”“双季稻区推行保护性耕作的主要措施旋耕秸秆还田对温室效应的贡献最大,秸秆不还田和免耕均有利于减小温室效应,因为免耕措施中秸秆多数处在有氧环境中,大大降低了甲烷的生成”^[4]。从温室效应的角度来说,与其生成甲烷,不如转化为二氧化碳。

《Nature》12月23日在线发表了中国农业农村部沼气科学研究所能源微生物创新团队的最新成果,研究发现了“一种来自油藏的新型产甲烷古菌,可在厌氧环境下直接氧化原油中的长链烷基烃产生甲烷,成为产生甲烷的第5条途径,突破了产甲烷古菌只能利用简单化合物生长的传统认知——产甲烷古菌仅能通过乙酸发酵、二氧化碳还原、甲基裂解和氧甲基转化4条途径”。该项成果拓展了对产甲烷古菌碳代谢功能的认知,也对土壤固碳的安全性提出了质疑。

鉴于上述,农业、林业生产中的废弃物,以及生活垃圾、有机物废弃物,如果焚烧就会直接产生二氧化碳、粉尘等污染物,如果填埋不仅会产生二氧化碳,还会产生温室效应更强的甲烷。为此,本课题提出了通过碳化将生物质中的有机碳转化为无机碳,再利用碳化产物生产建筑材料的减污降碳、节约资源新路径。

1 生物质的碳化机理

碳化是在绝氧、高温的条件下发生热解反应,组成生物质、有机物的聚合物断裂成小分子的挥发物并析出,导致碳的剩余和单质碳的形成。碳化技术不仅历史悠久,如我国《卖炭翁》中描述的“卖炭翁,伐薪烧炭南山中。满面尘灰烟火色,两鬓苍苍十指黑……”,而且方兴未艾,国内外都在开展大量研究与实践,具有节约资源、减少污染的现实意义。目前碳化技术研究主要围绕木材处理和功能材料两个方向推进。

在木材处理方面,以木材的吸湿特性^[5]、力学性能^[6]、防腐能力、耐火极限等专题的研究成果颇多,研究目的涉及改善木材性能^[7]、加强古建保护(因为我国许多古建是木结构的)^[8]等方面。现在,碳化的技术规范已比较成熟、

碳化木材的应用也十分广泛。

在功能材料方面,活性炭、机制木炭、木陶瓷、木材碳化电极(CW 电极)等功能材料的研究成为碳化技术的热点,如陈洋洋等人^[9]的“不同种类木材碳化电极的制备及性能”,陶毓博等人研究的木陶瓷抗弯强度达到了11.79MPa^[10]。功能材料的碳化温度要比木材处理碳化高得多,碳化过程中不仅有分解、裂解,还有微观结构的复杂变化,功能材料正是依靠其特定的结构实现其功能的。

本课题根据项目组前期的研究成果^[11],将碳化分为前置处理、初级碳化、中度碳化、深度碳化、高温碳化和改性碳化6个阶段,其中,前置处理是对原料进行分拣、破碎、筛分、修饰、成型等处理,是保障碳化顺利进行,保证碳化产物的形状、尺寸、品质满足技术要求的关键,其他阶段的主要特征如下:

(1) 初级碳化,温度为常温~200℃,对原料进行脱气和干燥,并开始热解,产生的气体主要是水蒸气和挥发份,由于“木材内无定形区内水分的流失导致相邻纤维素之间形成了新的氢键,使得纤维排列更加紧密,而此时热降解反应并未占据主导地位,因此热处理材的抗弯强度和弹性模量有所增加”,碳化产物为绝干状态,竹木材质的强度、耐腐蚀、抗变形等性能增强,并保持原有肌理,适宜制造竹木材质的装饰材料。

(2) 中度碳化,温度200℃~300℃(与欧规5中的碳化界线300℃,北美288℃基本一致),生物质和其他部分有机物会发生热分解反应,尤其是半纤维素(200℃~260℃)、纤维素(260℃~310℃)等不稳定的成分开始发生分解,其内部结构开始消失,向芳香族结构变化,产生少量的醋酸等液体,以及二氧化碳、一氧化碳、甲烷等可以点燃的混合气体。由于“纤维素大分子链断裂形成小分子,破坏了木材的骨架结构”,物理结构开始破坏,因此降低了木材的力学强度。

(3) 深度碳化,温度300℃~450℃,多数有机物会发生剧烈的热分解反应,如木素发生热解(310℃~450℃),产生甲烷、二氧化碳、一氧化碳、醋酸、焦油等物质,放出一定的反应热能,由于大量C-O和C-C键的断裂,碳氢结构、碳化层开始形成,导致质量损失多,结构变化大,如聚酚结构消失(400℃~410℃),芳香族结构向多环芳香化,单质碳含量逐步提高。

(4) 高温碳化,温度450℃~600℃,主要发生裂解和芳香化反应,产生一氧化碳、二氧化碳、甲烷等小分子物质,留下大量孔隙,碳网络收缩,随温度的升高,气化成分逐渐减少,挥发物的形成已完全,温度对碳含量的影响开始减弱,质量失重趋向稳定,碳含量约占90%以上。

(5) 改性碳化,温度为600℃以上,多为二次碳化,是根据需要,将以上的碳化产物进行筛分、成型等处理后,并在一定的压力、修饰、包裹等条件下进行碳化,以改变

碳基原料的微观结构,提高其性能,主要有:

烧结碳化——在一定的条件下进行高温烧结,能显著提高碳基材料的力学性能。如“烧结温度从 650℃升高到 800℃,木陶瓷的抗压强度从 0.21kN/cm² 提高到 0.88kN/cm²”^[12]。烧结碳化温度多为 800℃以上,碳化产物抗压强度高;

扩孔碳化——在 400℃以下时,由于生物质中的气体还未完全溢出,碳的多孔结构尚未形成,此时在试验中几乎无法测出木炭的炭化比表面积,因此,生产活性炭就需要采用扩孔碳化,将温度控制在 950℃左右,以提高碳的比表面积;

闭孔碳化——由于碳化过程中气体的析出,导致许多孔隙相互连通,不利于保温,就需要对原料进行包裹,使孔隙封闭^[13];

结晶碳化——高温碳化的产物多为无定型碳,是石墨层形结构的分子碎片大致相互平行而又无规则地堆积在一起,力学性能差,因此需要通过结晶碳化,实现其分子的结晶或微结晶,这是后续研究的重点。

上述碳化阶段中,初级碳化、中度碳化适用于木材热处理,中度碳化、深度碳化适宜于固体废弃物的就地回收,深度碳化、改性碳化多用于功能材料的制造。碳化工艺因原料不同、碳化产物的品质需求不同而不同,碳化产物也因碳化工艺的差异而不同,既有骨料也有粉体,需要物尽其用,节约资源。此外,碳化过程中,有的为吸热反应,有的释放反应热,需要通过余热利用以实现节能目标;既有有害气体析出,也有可燃气体产生,需要利用可燃气体的燃烧、废气的净化和废液的回收,以实现节能环保。

2 碳基材料的应用

碳基材料是以碳为主要化学成分的材料,广义上的碳基材料既包括以有机碳为主的木质材料,如木材、竹胶板等,也包括晶体结构不同的各种碳单质材料,如石墨、碳纤维等。碳基材料按形态分为板材、杆材、块材、卷材、涂料、粉体,其中,杆材如木格栅、碳化木等,卷材有旋切木皮等。本课题以碳基板材、块材和粉体研究为主:

碳基板材按构造、饰面状况又分一体板、毛面板、装饰板,而一体板、饰面板又可根据饰面材质和颜色进一步细分,如真石漆外墙板、乳胶漆内墙板、塑胶面楼梯板、烤漆柜门板等。从这些细分类型可见板材的力学性能要求高。

在建筑工程中,碳基板材适宜于制作墙板之类的构件。结构构件按受力特征可以分为受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件等。构件受到直接作用(荷载)与间接作用,就会产生内力(如轴力、弯矩、剪力、扭矩等)和变形,其最主要强度指标是拉力、压力。钢筋混凝土就是以钢筋抗拉、混凝土抗压而构成的一种组合材料,因此,碳基材料受力因子也可以分为抗拉因子和抗压因子。板材、

杆件等碳基材料是以抗拉强度大、防腐能力强、耐热温度高的纤维为抗拉因子,如碳纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维、钢丝等,以碳基骨料为抗压因子,以胶结材料将抗拉因子和抗压因子胶结在一起而构成的复合材料,具有突出的轻质高强、节能环保等技术优势^[14]。

碳基块材是以胶结材料将碳基骨料粘接在一起制成方块形状的材料,如碳基砌块、碳基渗水地砖等。碳基块材对骨料的性能要求不高,而且应用范围广,可大量消耗生物质废弃物、生活垃圾等废物,从而减少环境污染。

碳基粉体多为是碳化产物筛分后的尾料,粒径小、杂质多,可用于建筑、园林工程中土壤改良。傅伟军等人的研究表明,“农业废弃物以生物炭(主要是无机碳)的形式利用能直接增加土壤碳库,并且通过改变土壤理化性质和微生物群落结构使甲烷一氧化氮排放减少并新增 SOC,带来可观的减排增汇量。生物炭还能通过增加土壤肥力起到增产作用,并且不会引起病虫害,相比直接还田、好氧堆肥、厌氧发酵和焚烧发电等利用方式更全面地发挥了废弃物的资源属性,负面效应少”^[15]。

3 结论与展望

(1)从上述碳化机理的研究可以看出,采取合适的碳化工艺处理生物质废弃物,能科学地实现有机碳的无机化,不仅能大大减少温室气体的排放,而且避免了甲烷的产生;

(2)碳化产物用来生产建筑材料,不仅技术可靠,而且能实现生物质废弃物的资源化利用,更能减少水泥、钢材等高污染、高能耗材料的使用;

(3)采用碳化产物生产建筑材料的效益,不仅要计算传统的经济账,还要算碳交易的收益,以及节约资源、减少污染的社会效益。

总之,为了实现碳达峰、碳中和的目标,生物质废弃物的科学处理问题不仅是十分必要的,也是很迫切的。

基金项目:国家自然科学基金项目,长三角地区既有建筑外墙的装配化改造模式研究,51878588。

【参考文献】

- [1]United Nations Environment Programme. Emissions gap report[M].Nairobi:United Nations Environment Programme,2020.
- [2]李波,张俊彪,李海鹏.中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J].中国人口·资源与环境,2011,21(8):80-86.
- [3]Lu F,Wang X K,Han B,et al.Straw return to rice paddy:Soil carbon sequestration and increased methane emission[J].Chinese Journal of Applied Ecology,2010,21(1):99-108.
- [4]罗玉叶,邱龙霞,龙军,等.不同秸秆还田率情境下亚热带水田土壤的“碳汇”贡献模拟研究[J].土壤学

报,2022(9):1340.

[5]陶德亨.表面炭化木材水分传输行为研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2019.

[6]杨柳,李晖,杨志斌,等.木材炭化及其物理力学性能的研究[J].湖北林业科技,2011,171(5):32-34.

[7]LIT,ZHUMW,YANGZ,et al.Wood composite as an energy efficient building material: guided sunlight transmittance and effective thermal insulation[J].Advanced Energy Materials,2016,6(22):1601122.

[8]张翔,覃文清,李凤等.古建筑木材的热分解特性研究[J].消防技术与产品信息,2008(12):3-5.

[9]陈洋洋,张清桐.迟明超.等.不同种类木材碳化电极的制备及性能[J].消防技术与产品信息,,2021(9):1731.

[10]陶毓博,刘一星,李鹏.碳化工艺对木陶瓷性能影响的研究[J].材料热处理学报,2007,28(6):6-10.

[11]孙王虎.走向和谐建筑[M].合肥:合肥工业大学出版社,2013.

[12]王萍,程晓农,严学华,等.木粉/环氧树脂木材陶瓷的制备与研究[J].硅酸盐通报,2008,27(1):34-37.

[13]王娜,孙王虎.建筑节能技术[J].中国建筑工业出版社,2022(9):78.

[14]WanghuSun,Yuning Sun,Li Xu,Xing Chen,Debin Zai. Research on Energy Consumption Constitution and Energy Efficiency Strategies of Residential Buildings in China Based on Carbon Neutral Demand[J].Sustainability,2022,14(2741):1-16.

[15]傅伟军,徐向瑞,魏玲玲.生物炭农田应用的固碳减排研究进展[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2022(7):1155.

作者简介:孙王虎(1967-),男,博士研究生,正高级建造师,研究方向为绿色建筑技术。