

固体废物制备陶粒材料的研究进展

张 闯 姜 雪 李英华 李天鹏 (通讯作者)

枣庄学院城市与建筑工程学院 山东 枣庄 277160

摘 要:近年来,将固体废物资源化利用与陶粒生产相结合渐成新的发展趋势,并由此实现固体废物资源转化与安全处置,同时克服陶粒产业原料资源属性的制约。本文采用文献研究法,综述了当前国内外陶粒材料制备原料与工艺的研究进展及其应用现状。

关键词:固体废物;陶粒材料;制备工艺;应用领域

陶粒多呈圆形或椭圆形球体,粒径一般为 5-20 mm,内部有发达的微孔结构,是一种新型人造轻质介孔材料^[1]。它的颜色和形态因制备原料、制备方法不同而各异,常见分类方法如图 1 所示。陶粒因具有堆积密度小、空隙率高及比表面积大等优点,在建筑建材、环境保护及园林花卉等领域有着广泛的应用^[2]。陶粒材料的传统制备方式主要是以页岩、黏土等宝贵的不可再生自然资源为原料,掺合必要的辅助添加剂,经破碎或粉磨后加工成型,然后再通过高温焙烧或化学养护等工艺加工而成。为了满足日益增长的市场需求,就必然要开采大量的优质粘土或页岩矿山等。这种传统的制备方式,不但要破坏耕地资源,导致土地荒漠化、盐渍化及水土流失等,而且要破坏自然资源,生态急剧恶化。因此,寻找新的陶粒材料制备方式已迫在眉睫。近年来,将固体废物资源化利用与陶粒生产相结合渐成新的发展趋势^[3],且具有突出优势:一是可实现固体废物资源转化与安全处置;二是可有效克服陶粒制备原料资源属性的制约;三是可提供一种价廉易得、性能优良的污废水处理材料。本文重点从原料类型和制备工艺两方面综述陶粒材料的研究进展及其应用现状,以期陶粒行业又好又快发展提供理论参考。

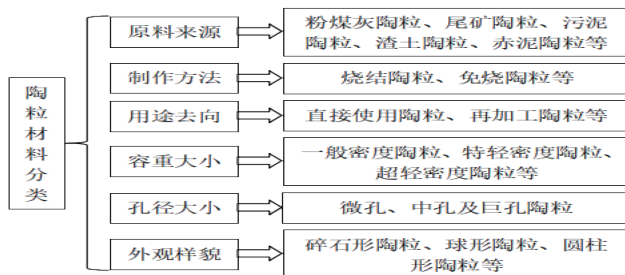


图 1 陶粒材料常见分类方法

1 陶粒材料的制备原料

本文在对固体废物的化学成分统计分析时发现,它们的 SiO_2 、 Al_2O_3 及 Fe_2O_3 等主要化学组分与页岩、黏土等不可再生自然资源的极为相近(见表 1)。因此,经过适当谨慎的处理,利用固体废物制备陶粒材料是可行的^[4]。此外,固

体废物 SiO_2 和 Al_2O_3 的含量直接影响陶粒材料的物理化学性能。就 SiO_2 而言,不溶于水又非常耐火,不会被高温破坏,而且其含量越高,制成的陶粒材料的硬度越强;就 Al_2O_3 而言,因其本身具有抛光性和吸附性,使得陶粒材料表面光鲜,实用性和观赏性都很强。

表 1 部分固体废物的主要化学组分含量 (%)

| 制备原料 | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ |
|-----------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------|------|-------------------|------------------|------------------|
| 黏土 ^[18] | 38.8 | 16.5 | 15.3 | 15.8 | 2.57 | 0.39 | 1.5 | |
| 黑棉土 ^[19] | 55.65 | 19.22 | 17.75 | 2.41 | 0.97 | 0.55 | 1.07 | 1.28 |
| 油页岩半焦 ^[19] | 48.44 | 13.63 | 9.70 | 16.42 | 1.59 | 3.94 | 2.91 | 1.15 |
| 白泥 ^[19] | 69.12 | 22.89 | 1.70 | 0.63 | 0.13 | 0.06 | 0.48 | 4.63 |
| 秸秆 ^[20] | 4.4 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 0.7 | 1.2 | |
| 污泥 ^[20] | 50.2 | 13.1 | 4.1 | 9.6 | 3 | 1.8 | 2.8 | |
| 粉煤灰 ^[20] | 39.6 | 35.4 | 4.1 | 4 | 0.9 | 0.3 | 0.9 | |
| 赤泥 ^[21] | 32.14 | 8.67 | 13.68 | 29.95 | | 3.32 | | |
| 矾尾矿 ^[22] | 66.45 | 6.72 | 3.82 | 7.5 | 0.5 | | 2.73 | 1.63 |
| 油泥灰 ^[23] | 54.44 | 22.32 | 6.01 | 4.69 | 3.03 | 1.48 | 1.56 | |
| 脱硫灰 ^[23] | 23.26 | 11.04 | 2.7 | 49.12 | 4.8 | 1.47 | 0.61 | |
| 煤气化炉渣 ^[24] | 35.87 | 14.32 | 6.81 | 10.32 | 1.45 | 1.66 | 0.6 | 0.6 |
| 煤矸石 ^[24] | 48.12 | 36.34 | 6.26 | 6.14 | | | | 1.13 |

近年来,有许多科技工作者从事固体废物制备陶粒材料方面的工作,并取得了阶段性的成果。太原理工大学的李小龙等^[5]人将高碳粉煤灰、膨润土、凝灰岩按 40:15:47.5 混合,添加 0.6% 的 SiC 和 0.5% 的 CaF_2 ,在 1300 °C 时烧制得到的超轻空心陶粒材料的堆积密度为 187 kg/m³,软化系数 0.833。西安建筑大学的刘琪等^[6]研究人员以煤气化炉渣为原料采用热处理工艺制备的中空陶粒材料的堆积密度约为 0.34-0.61g/mL。安徽工业大学的王梓等^[7]科研人员,利用铁尾矿粉和粉煤灰为原料,采用高温烧结法,在铁尾矿 70%、粉煤灰 30%、1100 °C、停留 40 min 条件下,可制备得到铁尾矿陶粒材料。

2 陶粒材料的制备工艺

2.1 高温焙烧工艺

高温焙烧工艺制备陶粒材料一般由干燥、碾磨、筛分、混匀、成型、低温预热、高温烧结和自然冷却等步骤组成(见图2),且应满足两个基本条件^[8]: 在一定的温度范围内,能够产生具有一定粘度的液相,可产生塑形形变; 在烧结过程中,能够产生足够的气体,可形成一定的膨胀力。刘成龙^[8]等科研人员用煤矸石代替页岩、黏土,将其通过粉碎机使其碎裂,研磨过后,干燥备用。按固液比 15:4 加入 30 g/mL KH₂PO₄ 溶液,混合造粒,在 800 oC 条件下停留 60 min,自然冷却至室温,便得到陶粒材料。

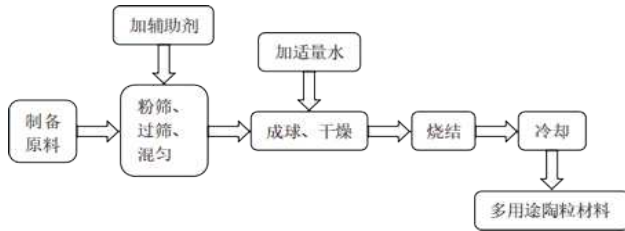


图2 高温焙烧工艺流程示意图

2.2 化学养护工艺

化学养护工艺的大致工艺流程为:首先将原料去除杂质送入研磨机粉碎,再将原料按照一定比例混合均匀,加入一定量的水和辅助剂,搅拌均匀,再放入挤压机或造球机内挤压成型,之后放入蒸汽养护机内养护一定时间(见图3)。其中,蒸汽养护一般可分为升温陈化、烘干蒸发、恒温养护三个过程。升温陈化的目的是使部分水分蒸发,其余各组分继续进行水化反应,一些孔隙慢慢联结起来,形成定性的孔隙,生成高密度物质,阻止了外部空气水分进入。

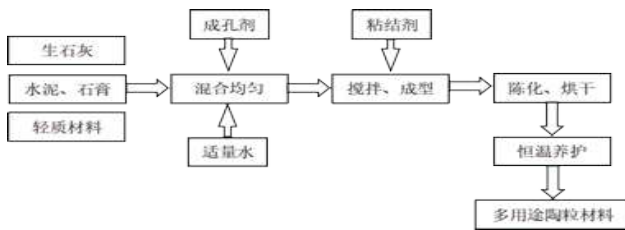


图3 化学养护工艺流程示意图

3 陶粒材料的应用现状

3.1 污废水处理领域

郑州航空工业管理学院的崔节虎等^[9]人员以污染性废渣赤泥为原料采用高温烧结法制备得到新型吸附功能材料赤泥陶粒,并用于含处理 Cd²⁺ + 废水。实验结果表明,在初始浓度为 10 mg/L、初始 pH 值为 7.0、赤泥陶粒质量为 1.4368 g、反应温度为 35 oC 及反应温度为 60min 的条件下,赤泥陶粒可完全去除水中的 Cd²⁺ 离子。河北工业大学的李一兵等^[10]学者用 NaOH 溶液对污水厂污泥、黏土和粉煤灰烧制的污泥陶粒进行改性制得碱改性污泥陶粒,并用于处理水中 Ni₂⁺ 离子。在初始 Ni₂⁺ 浓度为 10 mg/L、初始 pH 值为 7-8、投加量为 28 g/L 及室温下反应 180 min 的条件下, Ni₂⁺ 的去除率可达 98%。

3.2 建筑建材领域

东北大学秦皇岛分校的吴俊权等^[11]学者以铁尾矿为原料,粉煤灰为成分校正剂,在料球中 Al₂O₃ 含量为 17%,在 1000oC (升温速度 10 oC/min) 和 1210 oC (升温速度 25 oC/min) 停留 30 min 条件下,制备高强轻质陶粒堆积密度、表观密度、筒压强度及 1 h 吸水率分别为 888.20 kg/m³、1907.14 kg/m³、8.34 Mpa 及 5.04%,这些指标均符合国家标准(GB/T 17431.1-2010)中规定的 900 级高强陶粒性能要求,可用于建筑领域。长安大学李晓光等^[12]科技工作者根据《轻骨料混凝土技术规程》(JGJ/T 12-2019)设计配合比,用铁尾矿陶粒替代普通混凝土天然粗骨料,制备的 LC30-LC40 铁尾矿陶粒混凝土满足该规范中 LC30 配制强度要求,与普通混凝土相比,其抗折强度和弹性模量分别仅有 60% 和 65% 左右^[13-15]。

4 结束语

利用固体废物制备陶粒材料是一种集环境效益、经济效益、社会效益于一体的资源转化与安全处置方式。尽管此项技术应用发展前景广阔,但目前依然面临方式方法粗犷、核心技术匮乏、缺少高附加值产品等突出问题。今后重点从以下几个方面开展研究:(1)充分利用固体废物具有资源和废物双重特征,最大限度的降低陶粒行业对自然资源的依赖;(2)进一步优化制备工艺参数,制备功能多样用途广泛的陶粒材料。

【参考文献】

- [1] 童思意,刘雨敏等.我国固体废弃物制备陶粒的研究进展[J].矿产保护与利用,2019,3(1):140-150.
- [2] 王祝来,曾义军等.以底泥、粘土和鹅掌楸为原料制作新型陶粒的吸附特性研[J].应用化工,2021,50(2):403-406.
- [3] 梁标,蔡德平等.利用底泥制备烧胀陶粒技术的研究进展[J].功能材料,2020,51(11):11017-11024.
- [4] 汪学彬,杨钟卿等.工业固体废弃物制备陶粒及其应用研究进展[J].中国粉体技术,2021,27(2):1-8.
- [5] 王继娜,徐家栋等.焙烧工艺对赤泥陶粒烧成特性及性能的影响[J].非金属矿,2021,44(1):20-22.
- [6] 李路娟,李有鹏等.以固体废弃物为原料烧制水处理陶粒材料的影响因素研究[J].环境科技,2020,33(1):27-30.
- [7] 张雨晴,王名录等.复合材料黏土陶粒的研制[J].科学技术与创新,2020,3(1):17-19.
- [8] 欧阳璐,宋慧平.脱硫灰及含油污泥制备陶粒研究[J].粉煤灰综合利用,2020,34(4):82-86.
- [9] 刘琪,尹洪峰等.利用煤气化炉渣制备中空陶粒及其发泡机理研究[J].煤炭转化,2020,43(4):89-96.
- [10] Li T.P, Li T. Effect of thermal regeneration on the breakthrough performance of ceramsite saturated with methylene blue[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2020, 27(5): 87-96.
- [11] 王梓,田忠民等.铁尾矿粉煤灰陶粒的制备与表征

[J]. 材料研究与应用, 2020,14(3):217-225.

[12] 柴春镜, 陈鸿骏等. 粉煤灰陶粒的研究进展 [J]. 洁净煤技术, 2020, 26(6):11-22.

[13] 吴俊权, 朱杰等. 高硅铁尾矿制备陶粒工艺试验研究 [J]. 矿产保护与利用, 2020,6(1):126-132.

[14] 晓光, 侯鑫鑫等. 铁尾矿陶粒混凝土的制备与性能分析 [J]. 硅酸盐通报, 2021,40(3):929-935.

[15] 刘成龙, 梁浩等. 基于环境友好的煤矸石制备新型缓释陶粒中铁的缓释性能研究 [J]. 应用化工, 2020,49(5):1172-1174.

作者简介:

张闯 (2001.10-), 男, 汉族, 山东菏泽市人, 枣庄学院城市与建筑工程学院给排水科学与工程专业本科在读, 主要研究方向: 固体废物资源化利用。

通讯作者:

李天鹏 (1985.02-), 男, 汉族, 山东枣庄市人, 博士研究生学历, 枣庄学院城市与建筑工程学院讲师, 主要研究方向: 固体废物资源转化与安全处置。

基金项目:

枣庄学院大学生研究训练计划 (SRT) 项目 (2020156); 枣庄学院科研基金国家自然科学基金预研究项目 (102062001)。