

DOI: 10.13957/j.cnki.tcx.2019.06.002

陶瓷废料的产生和资源化利用现状

王少华¹, 汪超¹, 汪永清¹, 张小珍¹, 陈云嫩²

(1. 景德镇陶瓷大学, 材料科学与工程学院, 江西 景德镇 333403;

2. 江西理工大学, 资源与环境工程学院, 江西 赣州 341099)

摘要: 陶瓷产业的繁荣发展为我国的经济建设做出了巨大的贡献, 但陶瓷属于高能耗、高污染行业, 其所带来的生态和环境问题近年来也日益显现。在陶瓷材料的制备和使用过程中会产生大量的废料, 而目前大部分的废料采用露天堆放或填埋的方式处理, 因此了解陶瓷废料的来源及其再生利用方式具有重要意义。本文针对陶瓷废料的来源与危害进行了分析, 重点探讨了废料资源化利用的进展及存在的问题, 希望能够为陶瓷废料的循环利用提供参考。

关键词: 陶瓷废料; 废料危害; 抛光废料; 资源化利用

中图分类号: TQ174.9

文献标志码: A

文章编号: 1000-2278(2019)06-0710-08

Production and Reutilization of Ceramic Waste

WANG Shaohua¹, WANG Chao¹, WANG Yongqing¹, ZHANG Xiaozhen¹, CHEN Yunnan²

(1. School of Materials Science and Engineering, Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen 333403, Jiangxi, China;

2. School of Resources & Environmental Engineering, Jiangxi University of Science & Technology, Ganzhou 341099, Jiangxi, China)

Abstract: The prosperous development of the ceramic industry has made tremendous contributions to China's economic construction. However, the ceramic industry is a high energy-consumption, high pollution industry, and its ecological and environmental problems have become increasingly apparent in recent years. A large amount of waste is generated during the preparation and use of ceramic materials. At present, most of the waste is disposed of by open dumping or landfilling. Therefore, it is important to understand the source of ceramic waste and its recycling method. This paper analyzes the source and harm of ceramic waste, the progress in waste reutilization and the problems in the process of recycling, with the hope to provide a reference for the study on the recycling of ceramic waste.

Key words: ceramic waste; waste hazard; polished waste; resource utilization

0 引言

我国传统陶瓷产量连续十几年居世界首位, 2017 年建筑陶瓷产量约 101.46 亿平方米, 卫生陶瓷和日用陶瓷产量分别达到约 2.2 亿件和 500 亿件, 其中, 中部地区产量分别占 25%、55%和 45%左右, 而江西传统陶瓷产量总体上居全国第三位。

虽然陶瓷企业的繁荣发展为推进我国经济建设做出了不可磨灭的贡献, 但其带来的负面影响也越来越突出。陶瓷行业本身属于高能耗、高污染行业, 生产过程中消耗大量矿产资源和能源,

产生的废气、废水、废渣、粉尘等对环境造成严重污染。在一些陶瓷产业密集度高的地区, 陶瓷行业对空气、土地等环境污染现象尤为严重。很多地方对不可再生的矿产资源过度开采, 极大地破坏了生态环境, 而陶瓷废料的回收再利用目前尚处于起步阶段。据不完全统计, 我国建筑陶瓷行业每年消耗的天然矿物资源约 2 亿吨, 而每年排放的陶瓷废料却高达 1800 万吨^[1]。如此大量的陶瓷废料已经不是简单填埋可以解决的问题, 而且随着经济的日益发展和社会的进步, 环境已经成为人们关注的焦点。陶瓷废料的堆积极占土地,

收稿日期: 2019-05-12。

修订日期: 2019-09-11。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1903401, 2018YFC1903406), 江西省教育厅科技项目(GJJ180738)。

通信联系人: 王少华(1986-), 男, 博士, 讲师。

Received date: 2019-05-12.

Revised date: 2019-09-11.

Correspondent author: WANG Shaohua(1986-), male, Ph.D., Lecturer.

E-mail: wsh-501@163.com

影响当地空气的粉尘含量, 而陶瓷废料的填埋耗费人力物力, 还污染地下水水质。如何变废为宝, 化废料为资源, 已经成为陶瓷企业、科技部门和环保部门的当务之急。

1 陶瓷废料的来源与分类

陶瓷废料可根据其是否经过烧成工序分为未烧成废料和烧成废料。前者主要包括废坯料、废釉料和沉淀污泥等; 后者则主要包括烧成废瓷, 以及后加工工序所产生的废料, 如磨边废料、抛光废料等, 详情如下^[2-4]:

(1) 生坯废料: 主要是指陶瓷制品烧成之前所形成的废料, 一般是由于生产线堵坯、碰撞而产生, 包括有釉坯体废料及无釉坯体废料。坯体废料可以直接作为原料使用, 加入量可达 8%。

(2) 废釉料: 主要指因配料错误或被污染等原因而不能直接使用的釉料或颜色釉。因成本较高, 废釉料一般不会被直接丢弃, 而是以少量比例掺入其它釉料中重新利用。颜色釉通常因含有重金属元素等有毒、有害元素, 需由专门的机构进行回收。

(3) 污泥废料: 生产线上由于生坯破损、冲洗地面等沉淀于水沟中的污泥, 主要为未烧成的陶瓷废料, 其成分较为复杂, 除了坯料、釉料外, 还会有其他的一些杂质。

(4) 烧成废瓷: 是陶瓷制品在烧成过程中由于变形、开裂、缺角等生成的废料, 主要是烧成废品和在贮存和搬运等过程中因损坏而造成的废料。烧成废瓷根据产品种类可以分为建筑卫生陶瓷烧成废瓷, 日用陶瓷烧成废瓷和艺术陶瓷烧成废瓷等。

(5) 磨边废料: 为了降低对原料品质的要求和减少烧成过程的控制难度, 建筑陶瓷出窑后的砖坯尺寸往往大于铺贴时的尺寸, 因此需要对出窑的陶瓷砖进行磨边处理才能使尺寸达到使用要求, 该过程会产生大量的磨边废料。据估算每生产 1 m² 陶瓷砖会产生 2.0 kg 的磨边废料, 一条月产 25 万 m² 的生产线每月产生的磨边废料达到 500 吨。但因为磨边废料颗粒小、杂质少, 因此可以直接在坯体配方中循环利用。

(6) 抛光废料: 抛光砖和抛釉砖为了获得光亮、细腻的表面需要经过抛光研磨处理, 该过程会产生大量的抛光废料, 也称为抛光渣。每生产 1 m² 的抛光砖需要抛光磨头抛掉 0.8-1.2 mm 厚的表

面层, 约产生 2.0 kg 的抛光废料^[5,6]。而抛釉砖因为表面的硬度低和抛光的厚度薄(约为 0.1-0.2 mm), 每生产 1 m² 抛釉砖产生的抛光废料比抛光砖少的多, 约为 25 g。据估算陶瓷行业每年抛光废料年排量约为 630 万吨(包括抛光废干料和废水)^[7]。抛光废料中因为含有 SiC 和氯氧镁水泥等(来自于磨头的损耗)高温发泡成分, 因此难以直接在坯体配方中回收利用, 是目前陶瓷企业最难处理的一类废料。

2 陶瓷废料的危害

陶瓷固废种类繁多, 来源和组成复杂, 不同固废的物化性质差异大, 这些因素导致陶瓷固废的利用难度大、利用率低, 尚未形成综合性解决方案。大量的废瓷废渣仍采用直接丢弃填埋的方式处理, 占用大量土地资源, 造成严重的环境污染。陶瓷废料的危害主要有:

(1) 重金属污染: 日用陶瓷或陈列瓷的釉料和装饰颜料中往往含有铅(Pb)、镉(Cd)等重金属元素。日用陶瓷在使用过程中与食品接触时重金属离子的溶析对人体的危害已经被广泛关注^[8,9], 但是随意丢弃或填埋的陶瓷废料对环境的影响却少有研究。Andrew Turner^[10]通过对比大量陶瓷废料堆积和无陶瓷废料的海滩污泥中重金属 Pb 的含量发现, 陶瓷碎片的釉中 Pb 的含量高达 729000 mg/kg, 受陶瓷废料影响的两个海滩污泥中 Pb 的含量分别为 292 mg/kg 和 737 mg/kg, 而对照海滩污泥中 Pb 的含量仅为 20 mg/kg。进一步的实验发现 Pb 具有较高的环境迁移率^[10], 因此含有 Pb、Cd 等重金属元素的陶瓷废料, 特别是釉上彩, 应采取适当的方式进行集中处理。

除了日用陶瓷和艺术陶瓷外, 建筑陶瓷的沉淀污泥和磨边、抛光污泥中也常常含有一定量的重金属元素, 这些有害元素主要来源于表面装饰的颜料和墨水。表 1 列出了某陶瓷厂不同阶段陶瓷废料的化学组成, 显示两种废料中均含有重金属元素铬(Cr)(其中 1#为生产线的沉淀污泥, 2#为抛光污泥)。因此, 陶瓷废料若未能正确处理, 残留的重金属元素迁移至土壤和水中会对排放地周边的生态环境造成严重破坏。

(2) 大气污染: 一些陶瓷废料如沉淀污泥、抛光废料等颗粒细小, 露天堆放风干后极易随风进入空气中, 形成扬尘, 造成周边环境污染, 甚至威胁到人们的健康^[11]。

表 1 不同阶段废料的化学组成(wt.%)
Tab.1 Chemical composition of waste at different stages (wt.%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	I.L.
#1	67.01	19.60	1.39	0.94	1.64	3.65	2.22	0.04	0.53
#2	60.92	9.21	0.76	12.00	1.56	3.10	0.77	0.02	4.01

(3) 水污染：在抛光砖和抛釉砖的生产中，出窑后的产品需要经过抛光和打蜡处理，从而使表面光亮细腻和易于清洁。该过程会使用各种抛光助剂和蜡水等添加剂，这些添加剂一般由重金属氧化物、硬脂酸、石蜡和硅溶胶等复合而成^[11]。抛光工序后这些添加剂随着污水一起排放，对环境造成污染。另外，抛光废料颗粒细小，为了加快颗粒的沉淀以便于收集，需在水处理过程中加入无机絮凝剂聚合氯化铝(PAC)或有机絮凝剂聚丙烯酰胺(PAM)。PAM本身无毒，并且研究表明在土壤中施加PAM具有保水、保土和保肥的作用^[12,13]，但是在合成PAM时残留的丙烯酰胺(AM)却是有毒的，且PAM在降解的过程中也会产生AM类物质。AM对生物的危害非常大，可通过职业性接触和饮水等进入人体后引起急性、亚急性、慢性中毒^[14,15]。由于这种物质主要是通过水来传播的，所以各国生活饮用水都对它有严格的规范，我国饮水中规定其浓度必须小于0.5 μg/L，欧盟的下限更加的严格，AM的浓度必须小于0.1 μg/L^[12]。

(4) 侵占土地资源：由于缺少资金和技术支持，目前，我国大部分陶瓷废料采取露天堆放或浅层填埋的方式处理，如图1所示。据统计，每排放100万吨废料，需要占用约40万平方米的土地^[11]。陶瓷废料的随意堆放或填埋不仅浪费巨大的土地资源，废料中的有害成分也会对周边的土壤和水造成污染，综合损失难以估量。

3 陶瓷废料的资源化利用现状

经过近20年的快速发展，我国陶瓷产量取得了大幅度的增长，但与此同时带来的资源和环境问题也日益加剧。众所周知，我国是一个资源相对贫乏的国家，统计数据显示我国陶瓷行业每年消耗的矿物原料可达3亿吨^[16]，仅2007年建筑陶瓷消耗的原料就高达1.2亿吨^[17]，原料的缺乏也逐渐制约陶瓷行业的发展。而另一方面，我国陶瓷废料综合利用率低，仅为5%左右，远远落后于其他同类固体废弃物的综合利用率，如粉煤灰的68%、煤矸石的65%和废石膏的40%^[18]。大部分的陶瓷废料采取露天堆放和浅层填埋的方式处理，不仅消耗大量的人力、物力和财力，还会侵占土地，导致生态环境遭到破坏，因此如何“变废为宝”，有效地利用陶瓷废料成为当前陶瓷行业的重要任务之一。

世界其他国家对于陶瓷废料的处理非常重视，也较有成效。如英国的一些瓷砖厂使用的再生循环废瓷料比例高达40%。而意大利和日本等国家的陶瓷生产，甚至实现陶瓷废料零排放的良性循环生产体制^[19]。我国陶瓷科技工作者和相关大专院校等也对陶瓷废料的循环利用开展了大量的研究，并且取得了一些进展。综合而言，目前国内外对陶瓷废料的综合利用主要有以下几个方面：

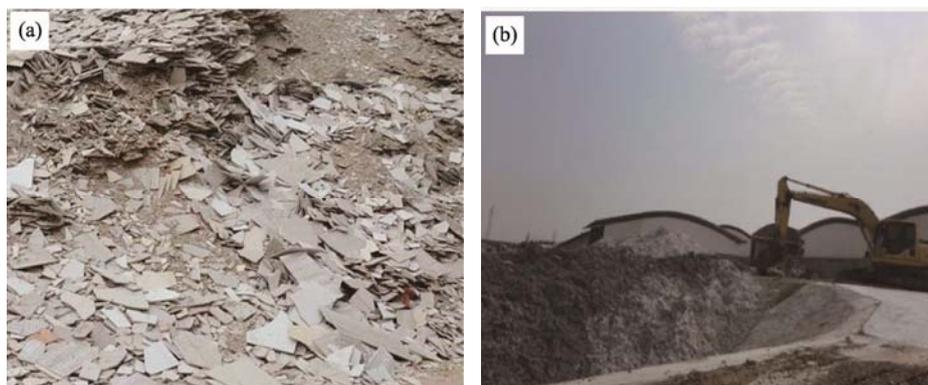


图 1 陶瓷废料的堆放和填埋处理
Fig.1 Open dump and landfill of ceramic waste

3.1 陶瓷废料用于制备建筑陶瓷坯料

建筑陶瓷生产中的生坯和沉淀污泥等未烧结废料, 由于数量较少、成分波动大, 一般以少量比例(0.5-3%)加入烧成温度较低、产品质量更容易控制的仿古砖坯体中。目前, 对于该类未烧结废料各陶瓷厂基本可以完全实现回收利用。而一些烧结废料, 如烧成或磨边阶段破碎的陶瓷砖, 经粉碎后也可以直接作为坯用原料, 加入量一般小于 5%。

抛光废料由于含有 SiC 等发泡成分, 是目前最难以回收利用的一类废料。但经过陶瓷科技工作者的不懈努力, 近年来部分企业也成功将其应用于建筑陶瓷坯料中。余国明^[20]等人在釉面砖坯体中加入 30%的抛光废渣、10%的釉面砖废渣和 60%的生坯料, 采用先低温素烧再高温釉烧, 成功制备出吸水率、破坏强度和断裂模数都符合国标的釉面砖产品(瓷片), 且能完全消耗自己公司的抛光废渣和釉面砖废渣。由于国外抛光砖的产量很小, 对于抛光废料的循环利用研究较少^[21-23]。Rambaldi 等^[23]用抛光废料取代作助熔剂的钠长石用于制备陶瓷砖, 结果表明当取用量为 5-15wt.% 时样品的吸水率、力学性能等各方面都能达到要求。目前, 利用抛光废料生产陶瓷釉面砖, 广东唯美陶瓷有限公司走在行业的前列。2013 年唯美陶瓷有限公司研发人员利用抛光废料颗粒细小、烧成温度低的特点将其用于制备低温快烧陶瓷砖, 其中废渣的加入量达到 40-60%^[24], 远远超过之前各企业和文献中报道的使用量。其每年不仅可以完全消纳自己公司生产的抛光废料, 也可以帮周边公司解决问题, 减少填埋量。此外为了避免抛光废料在高温容易发泡的问题^[5,7], 将烧成温度降低到 1150 °C 以下, 烧成时间缩短到 35-75 min 以内, 使得在有效利用废料的同时能够降低能耗, 节约能源^[24]。

3.2 陶瓷废料用于制备卫生陶瓷坯料

卫生陶瓷的生产对于气候的变化、温度湿度差异、窑炉温度的变化、不同原料的使用等因素要求很高^[25], 这也导致卫生陶瓷的总合格率偏低, 一般小型卫生陶瓷企业的合格率仅为 60-70% 左右, 而一些大型卫浴企业合格率可以达到 85-90%。以一条日产 85 吨成品、废瓷率 13% 的卫生洁具生产线为例, 每条线每天产生的废瓷量约为 11 吨, 每年产生的废瓷量超过 300 吨。卫生废瓷的主要利用途径是经破碎后作为卫生陶瓷的坯体原料使用, 利用率可达 30-40%^[26]。但由于该类废料体积

大、硬度高, 使用前需要经多次粉碎使颗粒粒径小于 0.4 mm(过 40 目筛), 因此如何实现高硬度烧结废料的低成本高效粉碎等预处理技术是卫生陶瓷循环利用的关键。

3.3 陶瓷废料用于制备多孔陶瓷

陶瓷废料制备多孔陶瓷是利用抛光废料在高温下发泡的原理, 在材料内部形成均匀封闭的气孔, 可作为轻质保温材料和隔音材料使用, 也是如何有效利用抛光废料研究最多的方向^[27]。如曾令可等人^[28]以高温砂、低温砂及粘土为原料, 加入 30-39wt.% 的抛光废料经 1170 °C 烧成制备出密度为 900 kg/m³、吸水率 19%、抗折强度 6 MPa、导热系数 0.23 W/(m·K)、耐火度 1200 °C 的轻质保温墙体材料。罗浩乐^[29]利用 50-60% 抛光废料、20% 的可塑性粘土和 25% 的砂研制了新型轻质外墙砖, 所制备的轻质外墙砖体积密度 0.9-1.3 g/cm³, 抗折强度 10-18 MPa, 并且具有良好的热稳定性和抗冻性能。李良龙^[30]详细研究了抛光废料的物相组成和颗粒形貌, 并利用光学显微镜观测到抛光废料的初始发泡温度为 1130 °C, 通过调整配方和烧成工艺, 制备出体积密度为 0.28 g/cm³ 的泡沫陶瓷。另外, 一大批的企业如欧神诺、蒙娜丽莎、东鹏等都进行了轻质砖的研发与生产, 并且取得了不错的成果。如欧神诺陶瓷公司采用抛光废料等生产的轻质砖晶立方, 在广佛地铁站墙面上使用, 得到工程和社会的关注与认可。蒙娜丽莎陶瓷利用 50% 抛光砖废料作为原料生产出长 2.1 m、宽 1.1 m 的轻质 QQ 板, 该产品的产业化和规模化生产成功, 真正实现了陶瓷企业固体废物零排放的效果。在防火、吸音、隔热、轻型建筑等领域有广阔的应用前景^[7]。

3.4 陶瓷废料用于制备新型建筑装饰材料

我国的日用陶瓷以高温白瓷为主, 烧成后的日用陶瓷废料具有高白度和高硬度等特点, 但因为日用陶瓷自身对原料要求较高, 且大部分的日用陶瓷企业以中小企业为主, 受到资金和人才的限制不具备回收利用烧结废料的能力。景德镇风益高分子材料科技有限公司的蔡焯兵等人^[31]利用日用陶瓷烧结废料硬度高、白度好的特点, 在人造石英石中加入 15-30% 的陶瓷碎片取代部分成本更高的石英砂原料, 成功制备出强度高、耐磨性能好的新型建筑装饰材料。

3.5 陶瓷废料用于制备透水砖

透水砖具有透水性(见图 2)、保湿性和防滑性等优点, 可以有效抑制“城市热岛”现象, 是一

种新型的功能性道路铺装材料。利用陶瓷废料制备透水砖是其有效的利用途径之一,不仅能够解决陶瓷废料对环境的污染,也能够“变废为宝”获得一定的社会与经济效益。吴建锋等人^[32]以60%陶瓷废料为主要原料,通过添加粘土、粘结剂等原料,经1100℃保温1h烧成后,成功制备出透水系数0.0312 cm/s、强度48.9 MPa、抗折强度7.8 MPa的高性能透水砖。陈平和王瑞生^[33]以50-70%废瓷粉与30-50%的瓷石、安口土与滑石等基础物料,采用干压法成形,烧成温度1100-1150℃,制备出透水系数为 3.27×10^{-4} cm/s,抗压强度为19.7 MPa、抗折强度为18.4 MPa的透水砖。周松青等人^[34]利用佛山鹰牌陶瓷有限公司的破损陶瓷和陶瓷废料为主要原料,实现低成本制造高附加值的透水砖。该方案中陶瓷废料的加入量最高可达75%,可以大量消耗破损洁具、抛光砖、瓷片和抛光砖磨屑等不同类型的陶瓷废料,具有较好的应用前景。

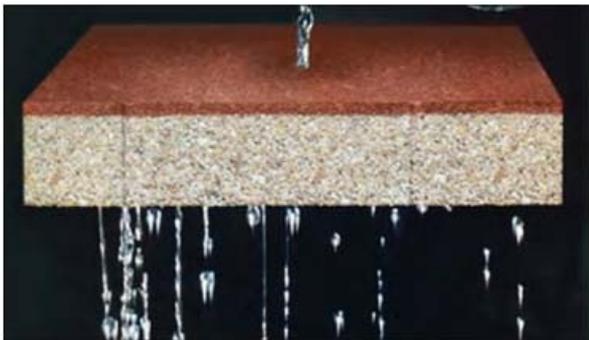


图2 透水砖的透水实验^[35]

Fig.2 Permeability test of permeable brick

3.6 陶瓷废料用于制备免烧砖

陶瓷废料的再生利用一般需要经过烧成工艺,该过程会消耗大量的能源,增加成本。而免烧砖无需烧结,通过自然养护或常温蒸压即可制备,利用陶瓷废料制备免烧砖是一种低能耗资源化利用固体废弃物的有效途径。丁琪^[11]基于高温碱性条件下废渣中的 SiO_2 部分溶出,与 CaO 发生水热反应生成托贝莫来石和水化硅酸钙(CSH)凝胶的原理,以抛光废渣为硅质原料、生石灰为钙质原料、破碎后的废瓷砖为骨料,并加入适量的引晶剂和激发剂等,通过调节原料配比和骨料的颗粒级配,优化工艺参数,最终制备出平均抗压强度44.5 MPa、循环冻融15次后的抗压强度为41.8 MPa、冻融后的质量损失率0.99%,综合性能远远超过国标中最高值要求的蒸压砖。谌俊等

人^[36]研究了用陶瓷废料取代部分砂和石粉制备免烧砖的可行性。结果表明,加入1%的激发剂(硫酸钠和石灰混合物)可促进水化硅酸钙和钙矾石的生成,砖坯强度提高2-3倍,且成本最大可降低26.8%,经济前景广阔。广东省佛山市陶瓷研究^[37]以陶瓷破砖、烂瓦等废料为主要原料,辅以高强度的粘结剂和色料,采用二次振动浇注成型工艺,成功开发出环保型免烧道路砖,被业内人士认为是废物利用、节能降耗的典范。

3.7 陶瓷废料用于制备水泥基材料

陶瓷废料主要成分为 SiO_2 和 Al_2O_3 ,具有火山灰质混合材料的特性,因此可作为廉价的原料用于水泥生产。该过程不仅可以消耗大量的陶瓷废料,同时为水泥工业提供廉价的原料,产生巨大的社会和经济效益。于利刚等^[38]详细研究了利用卫生陶瓷和建筑陶瓷废料用于水泥混合材料的可行性。首先他们研究了两种陶瓷废料的活性,结果如表2所示。粉磨后的陶瓷废料本身不具有水硬性,但是火山灰质活性符合国标要求。进一步的实验发现将陶瓷废料破碎到小于20 mm,加入量不超过15%时,通过调整配比完全可以作为混合材生产较高强度等级的普通硅酸盐水泥。

为了解决抛光废料带来的污染问题, EI-Dieb和Kanaan^[39]对抛光废料的组成、形态和活性进行了详细的表征,并且研究了抛光废料部分取代水泥对新拌混凝土和硬化混凝土性能的影响,实验结果表明抛光废料可以取代部分水泥制备出各项性能均符合要求的混凝土材料。

表2 陶瓷废料的活性实验^[38]
Tab.2 Activity test of ceramic waste

Sample	Loss/ %	SO_3 / %	Pozzolanicity test	28 d compressive strength ratio/%
Standard requirement	≤ 10	≤ 3	Qualified	≥ 62
Sanitary ceramic	0.37	0.07	Qualified	71
Ceramic tile	0.18	0.02	Qualified	68

3.8 陶瓷废料用于制备混凝土材料

近年来,将陶瓷废料作为混凝土的骨料是其再生利用的主要研究方向之一,即将废弃陶瓷破碎成粗、细再生骨料制备再生混凝土,并详细研究它们的基本力学性能、耐久性、微观机理等^[40-43]。

刘凤利^[41]比较了陶瓷再生骨料与天然骨料之间的差别,发现陶瓷再生骨料由于破碎而成,表面具有棱角,而且吸水率较大。陶瓷骨料表面的不平整性有利于骨料与水泥之间的结合,提高混凝土的强度,但是稠度实验发现陶瓷再生骨料的吸水率大,导致需水量增大,大幅提高了砂浆的水胶比。最后作者通过将陶瓷再生骨料与特细砂有效地级配,改善其缺点并成功探索出一条科学利用陶瓷再生骨料的有效途径。

丁小蒙^[42]选用景德镇市小作坊生产的陶瓷花瓶废料,经粉碎到 5-25 mm 的颗粒后作为陶瓷再生骨料制备混凝土材料。针对陶瓷再生骨料自身强度低、孔隙率和吸水率比碎石骨料大,以及陶瓷再生骨料-水泥石界面粘结性能差等特点,采用硅烷偶联剂 KH-550 对陶瓷骨料进行改性,将陶瓷再生骨料混凝土强度提高了 45%。立方体抗折实验也表明陶瓷骨料-水泥石界面过渡区粘结性也得到了明显改善。此外,作者将表面经过强化处理的陶瓷再生骨料以 10-100% 的比例等质量取代天然碎石骨料制备 C25 强度等级再生混凝土。抗压及劈裂抗拉强度结果表明:随着陶瓷再生骨料取代率的增大,再生混凝土抗压及劈裂抗拉强度呈递减趋势;当取代率为 60% 时性能最优,再生混凝土抗压及劈裂抗拉强度较原碎石混凝土分别提升 18.9%、7.99%。

国外对利用陶瓷废料制备再生混凝土也进行了大量的研究。Senthamarai^[44]等研究了利用陶瓷废料作为骨料制备混凝土材料的可行性,测试结果表明,与传统混凝土相比,陶瓷废料再生混凝土具有良好的工作性能。Suryavanshi 和 Swamy^[45]研究了用废陶瓷颗粒取代传统骨料对再生混凝土力学和物理性能的影响,结果表明加入陶瓷废料作为骨料以及适当的添加剂可以得到轻质高强的复合材料。Keshavarz 和 Mostofinejad^[46]制备了 65 组试样研究陶瓷砖和红色陶器两种废料取代粗骨料对混凝土性能的影响,结果表明陶瓷砖废料能够使混凝土抗压强度提高 41%,而红色陶器废料则提高了 29%。此外,发现陶瓷砖废料能够分别提高混凝土的拉伸和弯曲强度达 41% 和 67%。吸水试验表明,陶瓷废料使混凝土的吸水率增加了 54%,而红色陶器废料则增加了 91%,这是由于它们的高孔隙率导致的。

4 陶瓷废料资源化利用存在的问题

目前国内外在陶瓷废料的资源化利用方面取

得了一定的成绩,但是通过实地走访调查发现仍然存在一些问题,主要体现在以下三个方面:

技术方面:经过多年的研究与应用实践,大部分废坯、废泥料等未烧结废料都已实现回收利用,取得良好的经济和社会效益。近年来,国内外研究利用的重点是以废瓷、抛光废料等为主的硬质陶瓷固废。这类废料经高温烧结,物化性能改变,且粉碎困难、组成复杂,成为陶瓷固废利用的最大难点。特别是抛光废料由于含有 SiC 等高温发泡成分,成为陶瓷废料再生利用的最大“障碍”。在技术和设备更为先进的广东产区,大型建陶企业已经能够很好地掌握抑制抛光废料高温发泡的方法,基本实现固体废弃物的零排放,但在技术实力相对薄弱的江西产区或一些小微企业,对于抛光废料的再生利用还没有很好的解决方法。

经济方面:对于企业来讲,废料在循环利用过程的成本问题是必须要考虑的一个重要因素。虽然研究表明利用陶瓷废料制备陶瓷砖、多孔材料或免烧的胶凝材料等均具有可行性,但是陶瓷废料的收集、异地运输和预处理等所产生的成本问题使这些技术实际应用很少。如建筑陶瓷、卫生洁具和日用陶瓷烧结废料具有体积大、硬度高的特点,在重新利用之前必须要粉碎到合适的粒径,因此需要资金购买相应的粉碎设备。一些大型企业由于废料产生量大,废料综合处理的成本较低,会积极处理此类废料。但对于一些小微企业,废料的收集和预处理成本可能会高于原料的采购成本,因此更多的是将废料采取露天堆放或填埋的方式处理。

政策方面:随着国家对节约资源和环境保护的日益重视,各地政府主管部门陆续出台了针对包括建筑陶瓷生产企业在内的污染问题突出行业的环保整治措施。如佛山市政府于 2007 年和 2008 年分别出台《关于加快推进我市陶瓷产业调整提升工作的通知》和《佛山市加快推进清洁生产工作实施方案》等文件,强调“对污染重、能耗高、安全生产和环保不达标的陶瓷生产企业采取治理、搬迁、关闭等措施,限制和逐步淘汰落后的生产力”。在这样的背景下,节能减排与环保的达标与否,直接关系到企业的生死存亡,各陶瓷企业纷纷响应号召,积极实施清洁生产、固体废弃物循环利用等研究,并且取得了不错的成绩。但是对于一些经济欠发达的地区,当地政府和企业对环境保护意识不强,或者政策的实施不够深入、

缺乏持续性,致使企业的节能减排、废料的资源化利用等工作大打折扣。

5 结束语

陶瓷行业的快速发展为我国的经济建设做出了不可磨灭的贡献,但是陶瓷废料对生态和环境的破坏近年来也逐渐显现。本文通过实地调查和查阅文献的方式简要叙述了陶瓷废料的种类、来源、危害及其资源化利用现状。目前,我国在陶瓷废料的再生利用方面取得了一些的成绩,如一些大型的陶瓷企业基本可以实现固体废弃物和废水的零排放。但由于陶瓷废料种类繁多,来源和组成复杂,不同废料的物化性质差异大,以及不同陶瓷产区、企业受到政策、资金、技术和人才的限制,大量的废瓷废渣仍采用直接丢弃填埋的方式处理,占用大量土地资源,造成严重的环境污染。陶瓷废料本身主要由硅酸盐材料组成,因此在再生陶瓷制品方面有着巨大应用潜力。若能根据陶瓷废料的环境资源属性,开发出针对不同种类废料的分类处置与资源化综合利用方案,将会大幅提升陶瓷废料的利用率。同时,开发一些特殊的利用领域,实现陶瓷废料的高值化利用也是其未来的一个重要研究方向。

参考文献:

- [1] 林珊. 浅析陶瓷废料资源化综合利用的研究现状 [J]. 佛山陶瓷, 2018, 28(7): 4-6+16.
LIN S. Foshan Ceramics, 2018, 28(7): 4-6+16.
- [2] 蔡祖光. 陶瓷工业废料废渣的处理[J]. 佛山陶瓷, 2002, 12(3): 11-12.
CAI Z G. Foshan Ceramics, 2002, 12 (3): 11-12.
- [3] 商超兵. 浅析陶瓷工业废料废渣的利用 [J]. 陶瓷, 2005, (4): 32-34.
SHANG C B. Ceramics, 2005, (4): 32-34.
- [4] 俞康泰. 陶瓷废料的再循环和环境材料学 [J]. 佛山陶瓷, 2003, 13(9): 36-37.
YU K T. Foshan Ceramics, 2003, 13(9): 36-37.
- [5] 奚修安. 抛光砖废料的烧成发泡机理及应用研究[D]. 华南理工大学, 2011.
- [6] 郑文. 利用陶瓷抛光废料制备抛光砖的研究[D]. 华南理工大学, 2011.
- [7] 黄惠宁, 柯善军, 张国涛, 等. 抛光废渣在陶瓷砖中的应用及现状 [J]. 佛山陶瓷, 2012, 22(7): 1-9.
HUANG H N, KE S J, ZHANG G T, et al. Foshan Ceramics, 2012, 22(7): 1-9.
- [8] 胡俊, 区卓琨. 日用陶瓷铅镉溶出量的成因、危害及检测 [J]. 佛山陶瓷, 2011, 21(11): 16-19.
HU J, QU Z K. Foshan Ceramics, 2011, 21(11): 16-19.
- [9] 喻零春, 邓小文, 曾铭, 等. 日用陶瓷中有害重金属溶出量研究进展 [J]. 佛山陶瓷, 2017, 27(5): 30-2+43.
YU L C, DENG X W, ZENG M, et al. Foshan Ceramics, 2017, 27(5): 30-32+43.
- [10] TURNER A. Lead pollution of coastal sediments by ceramic waste [J]. Mar Pollut Bull, 2019, 138: 171-176.
- [11] 丁琪. 高强度建陶废渣蒸压砖的制备与性能研究 [D]. 山东理工大学, 2017.
- [12] 张敏. 聚丙烯酰胺在土壤中吸附规律的研究 [D]. 东北石油大学, 2013.
- [13] SOJKA B, LENIZ R. Polyacrylamide for Furrow-Irrigation Erosion Control [J]. Irrigation Journal, 1996, 46(1): 8-11.
- [14] 杨昀. 人类饮食和环境中的丙烯酰胺研究进展 [J]. 食品科学, 2003, 24(8): 225-229.
YANG Y. Food Science, 2003, 24(8): 225-229.
- [15] 张辉珍. 食品中丙烯酰胺等有毒有害物质检测方法建立及其应用研究[D]. 青岛大学, 2010.
- [16] 吴隽, 李其江, 张茂林, 等. 景德镇陶瓷原料负荷指标评价体系的构建 [J]. 中国陶瓷, 2015, 51(1): 46-53.
WU J, LI Q J, ZHANG M L, et al. China Ceramics, 2015, 51(1): 46-53.
- [17] 傅莉, 张儒. 对陶瓷工业生产节能减排的思考 [J]. 佛山陶瓷, 2011, 21(5): 11-13.
FU L, ZHANG R. Foshan Ceramics, 2011, 21(5): 11-13.
- [18] 赵云良. 低硅铁尾矿制备蒸压砖技术及机理研究[D]. 武汉理工大学, 2012.
- [19] 冼志勇. 抛光砖废料开口连通孔陶瓷吸声材料的制备与性能研究 [D]. 华南理工大学, 2015.
- [20] 余国明, 吕明, 李少平, 等. 利用抛光砖废渣生产釉面砖的技术与实践 [J]. 中国陶瓷, 2013, 49(9): 63-65.
YU G M, LV M, LI S P, et al. China Ceramics, 2013, 49(9): 63-65.
- [21] 甘伟. 陶瓷抛光渣及其利用研究 [J]. 广东建材, 2010, 26(6): 20-22.
GAN W. Guangdong Building Materials, 2010, 26(6): 20-22.
- [22] GARC A-TEN J, SABURIT A, BERNARDO E, et al. Development of lightweight porcelain stoneware tiles using foaming agents [J]. Journal of the European Ceramic Society, 2012, 32(4): 745-752.
- [23] RAMBALDI E, ESPOSITO L, TUCCI A, et al. Recycling of polishing porcelain stoneware residues in ceramic tiles [J]. Journal of the European Ceramic Society, 2007, 27(12): 3509-3515.
- [24] 黄建平, 谢悦增, 王永强, 等. 低温快速烧成陶瓷砖及生产工艺[P]. 中国专利: CN103693942A. 2014-04-02.
- [25] 赵江伟, 吴清仁, 梁柏清, 等. 卫生陶瓷的生产工艺及污染物与废料的解决措施 [J]. 佛山陶瓷, 2013, 23(4): 22-27.
ZHAO J W, WU Q R, LIANG B Q, et al. Foshan Ceramics, 2013, 23(4): 22-27.
- [26] 许爱民, 曾令可. 陶瓷废料的综合利用 [J]. 中国陶瓷

- 工业, 2006, 13(6): 16-20.
XU A M, ZENG L K. China Ceramic Industry, 2006, 13(6): 16-20.
- [27] 乔木, 王欣丹, 王艳, 等. 抛光砖抛光废料的回收利用途径分析 [J]. 中国陶瓷, 2011, 47(1): 25-28.
QIAO M, WANG X D, WANG Y, et al. China Ceramics, 2011, 47(1): 25-28.
- [28] 曾令可, 金雪莉, 税安泽, 等. 利用陶瓷废料制备保温墙体材料 [J]. 新型建筑材料, 2008, (4): 5-7.
ZENG L K, JIN X L, SHUI A Z, et al. New Building Materials, 2008, (4): 5-7.
- [29] 罗浩乐. 利用抛光砖废渣生产轻质外墙砖 [D]. 景德镇陶瓷学院, 2009.
- [30] 李良龙. 抛光砖废渣制备轻质泡沫陶瓷的研究 [D]. 华南理工大学, 2014.
- [31] 蔡焯兵, 程仁华, 李洪. 一种含陶瓷碎片的人造石英石及其制备方法 [P]. 中国专利: CN107344823A . 2017-11-14.
- [32] 吴建锋, 陈金桂, 徐晓虹, 等. 利用废陶瓷制备陶瓷透水砖的研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2009, 31(19): 27-30.
WU J F, CHEN J G, XU X H, et al. Journal of Wuhan University of Technology, 2009, 31(19): 27-30.
- [33] 陈平, 王瑞生. 绿色环保型渗水砖的研制 [J]. 中国陶瓷工业, 2003, 10(2): 13-18.
CHEN P, WANG R S. China Ceramic Industry, 2003, 10(2): 13-18.
- [34] 周松青, 林伟, 肖汉宁, 等. 利用破损陶瓷和陶瓷废料制造陶瓷透水砖 [J]. 佛山陶瓷, 2007, 17(8): 7-10.
ZHOU S Q, LIN W, XIAO H N, et al. Foshan Ceramics, 2007, 17(8): 7-10.
- [35] 周超群, 曾令可, 程小苏, 等. 透水砖研究现状及应用前景 [J]. 中国陶瓷, 2017, 53(9): 6-10.
ZHOU C Q, ZENG L K, CHEN X S, et al. China Ceramics, 2017, 53(9): 6-10.
- [36] 湛俊, 杨福伟, 朱方才, 等. 陶瓷抛磨废料免烧砖的制备与强度研究 [J]. 中国陶瓷工业, 2014, 21(2): 14-17.
CHEN J, YANG F W, ZHU F C, et al. China Ceramic Industry, 2014, 21(2): 14-17.
- [37] 平平. 环保型免烧砖 [J]. 建材工业信息, 2001, (8): 28.
PING P. Building Materials Industry Information, 2001, (8): 28.
- [38] 于利刚, 吴锦锋, 李云国, 等. 利用陶瓷废料作水泥混合材的试验研究 [J]. 水泥, 2004, (10): 10-11.
YU L G, WU J F, LI Y G, et al. Cement, 2004, (10): 10-11.
- [39] EL-DIEB A S, KANAAN D M. Ceramic waste powder an alternative cement replacement-Characterization and evaluation [J]. Sustainable Materials and Technologies, 2018, 17: e00063.
- [40] 李亚州. 废弃陶瓷骨料混凝土收缩及抗冻性能试验研究 [D]. 东北大学, 2011.
- [41] 刘凤利. 利用废陶瓷再生砂配制再生砂浆、混凝土的试验研究 [D]. 河南大学, 2011.
- [42] 丁小蒙. 废陶瓷再生粗骨料混凝土优化设计研究 [D]. 华东交通大学, 2013.
- [43] 卓振尧, 刘胜强, 吴少慧, 等. 陶瓷废料在混凝土的研究现状. 第十七届全国现代结构工程学术研讨会论文集[C]. 2017: 1680-1685.
- [44] SENTHAMARAI R M, DEVADAS MANOHARAN P. Concrete with ceramic waste aggregate [J]. Cement and Concrete Composites, 2005, 27(9): 910-913.
- [45] SURYAVANSHI A K, SWAMY R N. Development of lightweight mixes using ceramic microspheres as fillers [J]. Cement and Concrete Composites, 2002, 32(11): 1783-1789.
- [46] KESHAVARZ Z, MOSTOFINEJAD D. Porcelain and red ceramic wastes used as replacements for coarse aggregate in concrete [J]. Construction and Building Materials, 2019, 195: 218-230.