选铁尾矿制备高性能透水砖的试验研究*

何晓义[1],郭江宏[2],张国成[1],毛 俊[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司固阳矿山有限公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 以国内某废弃矿山选铁尾矿为研究对象,分别以压制成型和挤出成型工艺试验制备高性能免烧透水砖。提出了压制成型及挤出成型工艺配料方案,两种工艺制备的透水砖性能优良,满足建筑用材料要求,实现了以废治废的产业循环。

关键词: 选铁尾矿; 透水砖; 固废利用

中图分类号: X751 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2020)05-0034-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.05.012

Experimental Study on Preparing High-performance Permeable Brick with Tailings after Beneficiating Iron

He Xiao-yi[1], *Guo Jiang-hong*[2], *Zhang Guo-cheng*[1], *Mao Jun*[2]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Guyang Mining Co., Ltd. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, it is introduced the baking-free high-performance permeable brick is prepared with the process tests of compression moulding and extrusion molding respectively by taking the tailings after beneficiating iron of an abandoned mine in China as the object of study. The blending strategies for compression moulding and extrusion molding processes are put forward. The permeable bricks prepared with the two processes are with excellent properties and could meet the requirements of building materials so that the business cycle of treatment of wastes with processes of wastes against one another is realized.

Key words: tailings after beneficiating iron; permeable brick; solid waste utilization

选铁尾矿是选矿中分选作业过程中的产物,是对矿石破碎、磨细后将有用的矿物成分选出后排出的细粒状固体废弃物,是工业固体废弃物的重要组成部分。选铁尾矿堆存占用了土地,污染了环境,而且造成了资源浪费,给环境带来严重污染和危害。固体废弃物的综合利用问题现已受到了全社会的广泛关注。近年来一些矿山企业迫于资源枯竭、环境保护等问题的压力,大力推进选铁尾矿资源的开发利用,在尾矿回收有价金属元素、制作建筑材料、用作土壤改良剂等方面取得了较好的成果[1]。

透水砖是一种具有高孔隙率的透水性路面铺装材料,较高的孔隙率使它具有良好的透水性、透气性

* **收稿日期**: 2020-07-30

作者简介: 何晓义(1973-),男,内蒙古包头市人,高级工程师,现从事烧结工艺、工业固废综合利用研究工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

和保湿性。透水砖能够把雨水渗透到地下，即使遇到暴雨也无明显径流，可以达到雨停即干的效果，同时对土壤水和地下水资源的补给起到了积极的作用，能够有效地缓解硬化路面对城市地下水资源的负面影响。此外，透水砖的多孔性对调节地表局部空间的温度和湿度[2]，缓解城市热岛效应有较大的促进作用。透水砖是海绵城市建设的重要建筑材料，能够从源头缓解现阶段我国面临的城市雨水疏解和利用问题。由于透水砖具有的优良特性，使其具有广阔的市场前景，获得了市场的青睐，而且经济附加价值高，节能环保优势明显[3]。利用选铁尾矿制备透水砖，既能消耗大量固废，节约资源，起到节能降耗的作用，又能满足城市建设对高强度、高透水性和耐久性透水砖材料的需求，实现变废为宝。

1　选铁尾矿的试样分析

试验用选铁尾矿取自某废弃矿山尾矿库南冲积滩、东冲积滩。以均匀布点方式采集试样 30 份，其中有 10 份试样铁品位高于 6.2%。对这 10 份矿样进行了磨矿选矿试验，最终得到的铁精矿品位普遍较低，回收率不高且选矿比较大。其中有 2 份试样的磨选试验制备的铁精矿品位不低于 62.20%，但选比都大于 150；其余试样试验制备的铁精矿品位均未达到 60.00%，选比从 29.94～666.67 不等。表明此矿山选铁尾矿在目前的技术条件下进行磨矿—选矿再利用难度较大，回收铁精矿再利用的价值不高，应重点研究制备高附加值建筑材料的可行性。

对尾矿库 3 份试样进行了理化性能分析，其中 1#矿样为尾矿库东侧冲积滩综合试样，2#矿样为尾矿库南侧冲积滩综合试样，3#试样为尾矿库综合试样。经分析此矿山选铁尾矿主要矿物组成为石英、辉石、长石、角闪石及其蚀变矿物，化学成分主要为 SiO_2、Al_2O_3、MgO、CaO、FeO 等，非金属成分含量占比在 90% 以上。对尾矿试样进行浸出毒性及腐蚀性分析，浸出液 pH 值在 6～9 的范围内，各项指标检测结果均未超过国家标准规定的限值[4-5]。可以判定此选铁尾矿属于第Ⅰ类一般工业固体废物，尾矿中不含有毒有害元素，不含有放射性元素，适合作为建筑材料使用。选铁尾矿试样粒度较细，小于 0.074 mm 占比为 41.62%。其化学成分见表 1，粒度组成见表 2。

表 1　选铁尾矿的主要化学成分（质量分数）　%

试样	TFe	mFe	FeO	SiO_2	S	CaO	MgO	Na_2O	Al_2O_3
1#矿样	8.60	0.90	5.60	55.29	0.13	5.66	3.90	3.41	14.45
2#矿样	6.20	1.40	3.00	60.36	0.12	5.58	3.29	4.67	11.61
3#矿样	7.70	1.50	4.40	56.92	0.10	6.35	3.79	3.26	13.70

表 2　选铁尾矿的粒度组成分布

粒径范围/mm	>8.000	0.710～8.000	0.500～0.710	0.300～0.500	0.150～0.300	0.074～0.150	<0.074
比例/%	0.23	1.83	1.74	2.56	15.05	36.97	41.62

2　试验方案

透水砖制备工艺按其合成方法分为烧结法和非烧结法。非烧结法透水砖可选用矿山固废、煤矸石、粗颗粒的石子、钢渣、废旧混凝土等为主要原料，外添加水泥、胶凝材料作为黏结剂，通过混匀、搅拌、压力成型，使水泥等黏结剂包裹住骨料，随着时间固化，制成养护型透水砖。非烧结法透水砖使用的原料本身不能含有重金属离子等有害物质。与烧结法相比，其制备过程中能源消耗较低，生产过程基本是零能耗。本文采取非烧结法制备透水砖。试验分别以压制成型工艺和挤出成型工艺进行试样制备。其工艺流程见图 1。

试验用辅助材料有水泥、矿渣、脱硫石膏、石硝、凝胶材料等。其中脱硫石膏主要成分为二水硫酸钙，含量不低于 93%；胶凝材料以水泥、矿渣、高分子聚合物、脱硫石膏质量比为 60∶16∶16∶8 进行配料，采取梯级混磨的磨矿方式制备。

试验内容包括以铁尾矿为主要原料，以水泥、凝胶材料为黏结剂，通过改变选铁尾矿配加量、选铁尾

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

矿粒级分布、原料配比以及成型压力等工艺条件，研究透水砖试样吸水率、透水系数、抗压强度和抗折强度的变化规律。试验在固定成型压力、炼料次数、环境温度、养生时间的条件下设定了压制成型和挤出成型配料方案各4组，见表3、表4。试验优选出配料方案后，调整以选铁矿尾矿为主要原料制备透水砖的其他工艺参数，为实现选铁尾矿的高配加量和高附加值利用奠定技术基础。

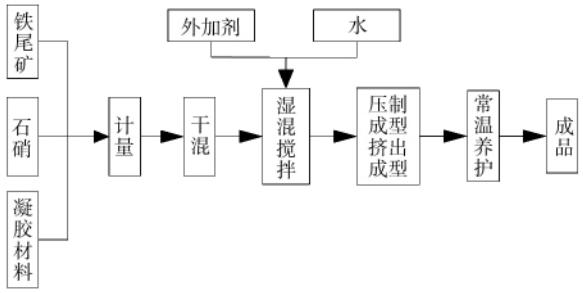


图1 透水砖制备试验工艺流程图

表3 压制成型工艺配料方案(质量分数) %

试验编号	尾矿	石硝	凝胶材料
YZ1	82	10	8
YZ2	80	11	9
YZ3	78	12	10
YZ4	74	9	17

表4 挤出成型工艺配料方案(质量分数) %

试验编号	尾矿	石硝	凝胶材料	高分子聚合物
JZ1	65	10	25	10
JZ2	70	12	18	10
JZ3	75	10	15	10
JZ4	80	8	12	10

3 试验过程

压制工艺试验主要工序：选料→配料→搅拌→布料→包膜→压制成型→养生→干燥。选料是将选铁尾矿进行筛分，将大于8 mm粒级的物料予以剔除，选取0～8 mm的尾矿作为透水砖的基料。配料工序将试验用选铁尾矿及辅助材料按80%～90%尾矿、6%～12%石硝、5%～20%凝胶材料进行配料。基层混凝土将选铁尾矿、胶凝材料、石渣等原材料混合均匀，再加入适量的水后搅拌均匀；面层混凝土将胶凝材料、颜料、面砂(细粒级尾矿)等原材料搅拌均匀后，再加入一定量的水搅拌均匀。采取基层和面层分开布料的方式布料。压制工序采用DY－50型自动液压制砖机制备成型，成型压力50 MPa，成型后的尾矿透水砖用抹刀修平表面，坯体干燥养护24 h后进行试验样品性能检测。

挤出成型工艺是将松散泥料通过挤泥机挤压成致密、具有一定断面形状的连续泥条以供切坯的工艺过程。主要工序：选料→配料→添加添加剂→搅拌→挤出→切坯成型→养生→干燥。此次试验为硬塑挤出成型，其砖坯含水率12%～16%，挤出压力为1.5 MPa。

4 结果及讨论

利用选铁尾矿分别进行了4组不同配料方案的压制成型和挤出成型制砖试验，试验完成后对试验样品进行性能检测。样品力学性能测试依据混凝土路面砖标准的规定进行[6]，抗压强度采用WEW－600A液压万能试验机测试，加载速度约0.3 MPa/s，抗折强度采用WDW 1020微控电子万能材料试验机测试，加载速度为0.1～0.2 MPa/s。压制成型试验成品透水砖见图2。检测结果见表5、表6。

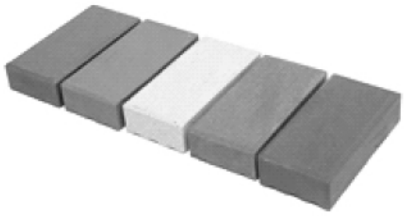


图2 选铁尾矿制备的透水砖试验样品

表5 压制成型工艺制备的透水砖性能

试样编号	抗压强度/MPa	抗折强度/MPa	气孔率/%	透水系数/(mm·s^{-1})	磨坑长度/mm
YZ1	64.21	14.08	22.54	0.55	25.74
YZ2	64.96	14.45	21.35	0.49	25.55
YZ3	65.15	14.94	20.38	0.46	25.52
YZ4	65.11	14.31	19.06	0.42	24.92

表6 挤出成型工艺制备的透水砖性能

试样编号	抗压强度/MPa	抗折强度/MPa	气孔率/%	透水系数/(mm·s^{-1})	磨坑长度/mm
JZ1	39.05	10.69	27.33	0.42	26.99
JZ2	39.13	11.06	28.17	0.49	26.62
JZ3	40.01	11.87	26.62	0.48	26.12
JZ4	41.25	12.11	24.15	0.43	25.88

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

根据表 5、表 6 结果分析，以选铁尾矿为主要原料，以石硝为成孔剂，完全可以制备出性能良好的透水砖，其性能符合透水路面砖和透水路面板标准的技术要求[7]。随着选铁尾矿配加量的增加，透水砖的强度呈现逐渐降低趋势，透水系数增加。当选铁尾矿配加量为 74% 时，透水砖抗压强度达到 65.11 MPa，透水系数降低至 0.42 mm/s；当选铁尾矿配加量增加至 82% 时，透水砖抗压强降低至 64.21 MPa，透水系数提高至 0.55 mm/s。继续增加选铁尾矿配加量，透水砖的抗压强度不超过 60 MPa，表明随着尾矿用量的增加，凝胶材料的用量逐渐减小，透水砖中的水化产物总量相应减少，不能很好地包裹选铁尾矿及石硝颗粒，选铁尾矿及石硝颗粒之间的紧密结合程度降低。

比较两种成型工艺，挤出成型工艺制备的透水砖的抗压强度为 40 MPa 左右，明显低于压制成型工艺，以此工艺生产的成品透水砖只适合于铺设人行道路面。采用挤出成型工艺制备的透水砖具有气孔率高、平均孔径大、透水系数较小的特点。挤出成型工艺制备的透水砖虽然具有较高的气孔率，但存在较多的封闭气孔，影响了透水砖的孔隙连通性，导致透水系数明显低于采用压制成型工艺制备的透水砖。

为了最大限度的利用尾矿资源，同时保证透水砖的性能，确定压制成型工艺最优配料方案为 82% 尾矿 +10% 石硝 +8% 凝胶材料；挤出成型工艺最优配料方案为 75% 尾矿 +15% 石硝 +15% 凝胶材料，外配 10% 高分子聚合物。确定最优配料方案后，固定配料方案，调整成型压力、练料次数、养生时间等工艺参数，研究透水砖性能与工艺参数间的关系。成型压力和练料次数与透水砖性能相关性见图 3。

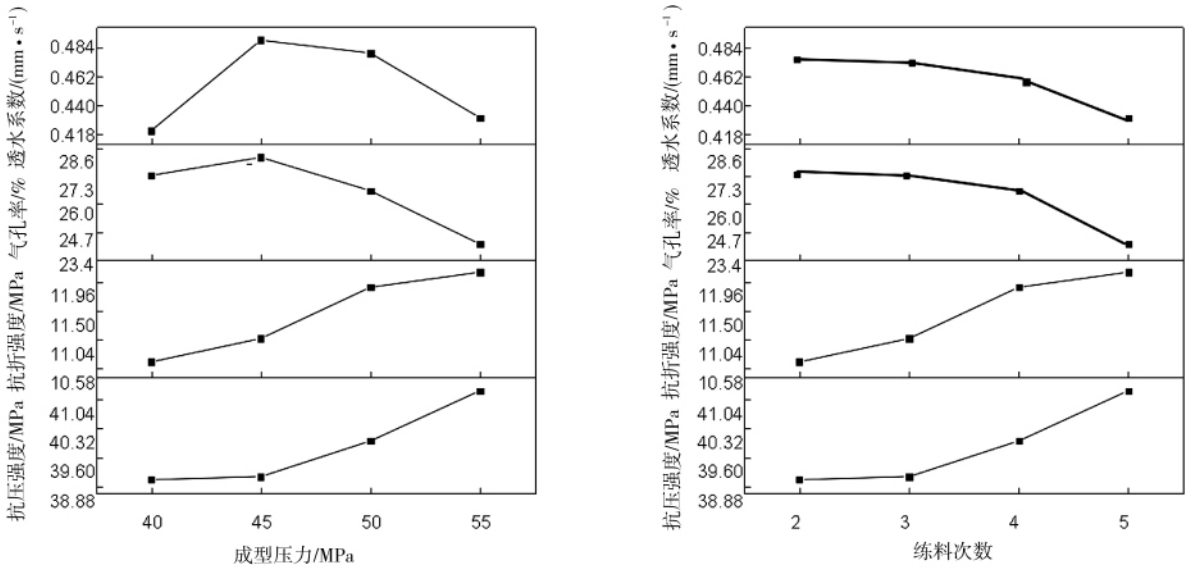


图 3　成型压力与练料次数与透水砖性能关系

依据试验数据分析得出工艺参数对透水砖的性能影响规律。透水砖的力学性能随成型压力、练料次数和养生时间的增加而提高；气孔率随环境温度、成型压力及练料次数的增加而降低；透水系数是气孔率、孔径分布及孔隙连通性的综合反应，气孔率高、孔径较大、孔隙连通性好，则透水系数大；成型压力的增加、保温时间的延长、练料次数的增加均会降低透水系数；透水砖的耐磨性能与产品的致密性有很大的关系。成型压力越大，练料次数越多，环境温度越高，养生时间越长产品的致密性越高，耐磨性能越好；对生产工艺参数适度调整，可利用选铁尾矿生产不同用途要求的透水砖产品。

5　结论

(1) 以废弃选铁尾矿为原料，采用压制成型和挤出成型工艺可生产不同性能的透水砖产品。

(下转第 50 页)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4 应用情况

产品通过拉延、冲孔、折弯、翻边、四序冲压成形。冲压1 700件全部合格，说明包钢开发的340 MPa级别高强IF钢镀锌板完全满足用户的使用要求。

5 结论

(1) 试验钢采用低温加热、高温终轧和高温卷取，能够获得均匀F晶粒，使碳氮化物充分析出和长大，提高成形性能。

(2) 试验钢的冷轧压下率应大于70%，增加有利织构取向密度从而提高r值。退火温度升高，力学性能稳定性增加，试验钢的综合成形性能在退火温度为810～820 ℃时最好，屈服强度符合220～280 MPa，抗拉强度符合340～410 MPa，断后伸长率达到35%以上，n值达到0.20以上，r值达到1.5以上。

(3) 试验钢通过拉延、冲孔、折弯、翻边、四序冲压，成形性能良好，满足用户使用要求。

参 考 文 献

[1] 王先进，王作成，唐狄，等. 成分及工艺对加磷高强IF钢成形性能的影响[J]. 钢铁，1993，28(3)：33－68.

[2] 吴承建，汤晓丽. 铈、钼和磷在钢中的晶界偏聚行为与高温回火脆性[J]. 钢铁，1991，26(12)：31－35.

[3] 赵品. 材料科学基础(第二版)[M]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2003.

[4] 郭小龙，郑之旺，孙力军. 超深冲IF钢的生产技术与发展概况[J]. 上海金属，2008，30(1)：39－43.

[5] 张鹏，汪凌云，任正德. 微合金化超深冲—无间隙原子(IF)钢生产技术的进展[J]. 特殊钢，2005，26(2)，1－5.

[6] Hiroshi Tskechi. Metallargical A spects on Interstitial Free Sheet Steel[J]. ISIJ International，1994，34(1)：1－8.

[7] 杨娜，崔岩，胡劲. 高强度IF钢的研究进展[J]. 物理测试，2009，27(3)：1－5.

[8] GB/T 2518—2018，连续镀锌和锌合金镀层钢板及钢带[S].

[9] 程国平，袁明生，张红. 连续热镀锌工艺对IF钢力学性能影响[J]. 宝钢技术，2001，(2)：9－13.

(上接第37页)

(2) 采用压制成型制备透水砖的最优配料方案为82%尾矿＋10%石硝＋8%凝胶材料，采用挤出成型工艺制备透水砖的最优配料方案为75%尾矿＋15%石硝＋15%凝胶材料，外配10%高分子聚合物。

参 考 文 献

[1] 唐亮. 会呼吸的砖—透水砖的发展现状和发展趋势[J]. 住宅产业，2010，(9)：23－24.

[2] 赵业兵，张新朋，吴楠，等. 环保免烧结煤矸石透水砖的制备方法及其透水性能[J]. 硅酸盐通报，2014，33(12)：3255－3261.

[3] 何定举，王世槐，高亚雄，等. 基于海绵城市理念的透水性城市道路路面应用研究[J]. 山西建筑，2015，41(17)：112－113.

[4] GB 5085.3—2007，危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别[S].

[5] GB 8978—1996，污水综合排放标准[S].

[6] JC 446—2000. 混凝土路面砖标准[S].

[7] GB/T 25993—2010. 透水路面砖和透水路面板标准[S].

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net