

洗砂泥浆制备冷胶结多孔陶粒

Preparation of Cold-bonded Porous Ceramsite with Sand-washing Mud

谢宁波

Ningbo Xie

深圳市能源电力服务有限公司 中国·广东 深圳 518052

Shenzhen Energy and Power Service Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518052, China

摘要: 大量洗砂泥浆产生于建筑工地和厂房, 其不当堆积会对生态和环境造成重大威胁。为了回收利用这种洗砂泥浆, 基于发泡技术和破碎技术制备了一种冷胶结多孔渣土陶粒。研究了洗砂泥浆掺量和泡沫掺量对泡沫渣土砌块和多孔渣土陶粒工程性能的影响。结果表明, 当洗砂泥浆掺量为70%、泡沫掺量为15%时, 砌块的强度最低, 且吸水率较高的砌块抗压强度较低。洗砂泥浆掺量过多会降低陶粒的物理性能, 因此在生产陶粒时需要设计合适的配合比。用洗砂泥浆开发多孔陶粒具有较大潜力, 该多孔陶粒在园林绿化和农业等方面具有广阔的应用前景。

Abstract: A large amount of sand-washing mud has been produced in construction sites and plants, and the improper accumulation of the mud could pose a major threat to the ecology and environment. To reutilized such mud, a cold-bonded porous ceramsite was produced based on foaming and crushing technology. The effects of the mud and foam content on the engineering properties of foamed block and porous ceramsite were studied. The results show that when the mud and foam content were 70% and 15%, respectively, the compressive strength of the block was the lowest; meanwhile, the strength of the block with higher water absorption was lower. An excessive amount of mud would reduce the physical properties of ceramsite; thus, it is necessary to design a proper mix proportion when producing ceramsite. The production of porous ceramsite with sand-washing mud has great potential, and such porous ceramsite has broad application prospects in landscaping and agriculture.

关键词: 洗砂泥浆; 发泡剂; 破碎技术; 陶粒

Keywords: sand-washing mud; foaming agent; crushing technology; ceramsite

DOI: 10.12346/peti.v4i4.6977

1 引言

随着城市化进程的不断推进, 中国每年的建筑垃圾总量达到15.5亿~24亿吨, 其中管沟和深基坑工程开挖所产生的渣土量超过70%^[1]。很多情况下, 这些渣土被简单地露天堆放, 影响空气质量, 污染地下水, 危害生态。因此, 人们制定了多种策略来处理渣土^[2,3]。渣土可作为填充材料直接回填。Kim等人使用煤灰和挖出的土壤生产出一种可控的低强度材料。Priyadharshini等将挖掘出的土壤废弃物作为聚土砂浆的骨料, 以防止土壤有机质的积累。Qian等人用上海建筑工地挖出的土替换了沙子, 制备了一种可控的低强度材料。另一方面, 渣土中的砾石作为混凝土结构工程应用的

细骨料具有很大的潜在价值。由于细骨料缺乏, 深圳一般采用冲洗的方法从渣土中分离砂粒, 这也是一种有效的渣土循环利用方法。

然而, 这种方法不仅会浪费大量的水资源, 而且也会剩余大量的泥浆废弃物需要进一步妥善处理。目前, 有效地消耗过量的泥浆废物仍然具有挑战性, 通常采用烧结法从泥浆中提取建筑材料。Huang等人将水处理后的残余泥浆与工程渣土混合, 通过烧结的方法制备砖和人造骨料。虽然烧结法的使用提高了渣土的工程性质, 但过多二氧化碳的排放会对环境产生较大的负面影响。为了克服这个问题, 采用冷胶结法。化学稳定是改善洗砂泥浆性能的最常用策略之一, 水泥

【作者简介】谢宁波(1969-), 男, 中国河南许昌人, 硕士, 工程师, 从事电厂固废综合利用以及粉煤灰、渣、煤矸石及石膏等的开发应用研究。

或其他胶凝材料的加入可有效改善土体的力学性能。该方法生产陶粒的能耗较烧结法低,有望节约能源,有利于社会的可持续发展。此外,冷胶结的制备工艺更有利于工业化生产,带来更大的经济效益。

泡沫混凝土是一种多孔轻质材料,可根据建筑工程的不同需求设计不同的密度。以洗砂泥浆为原料代替部分水泥和细骨料制备发泡水泥-渣土砌块,在此基础上,还可以通过破碎技术的制备冷胶结多孔陶粒,因此具有非常大的工程和经济价值。然而,洗砂泥浆掺量和发泡剂掺量对泡沫水泥-渣土砌块和陶粒工程性能的影响尚不清楚。为此,论文首先制备了不同洗砂泥浆掺量和泡沫掺量的泡沫水泥-渣土砌块,对其抗压强度、密度和吸水率进行了研究;然后利用破碎技术得到了不同粒径范围的渣土陶粒,为了测试陶粒的工程性能,根据现有标准和规范对陶粒的堆积密度、吸水率和浸出液的pH进行了评价。

2 实验和方法

2.1 原材料

本实验所用渣土为洗砂泥浆,来自广东省深圳市一家洗砂厂,其含水率为33.26%,液限和塑性指数分别为49.12%和26.59%。使用前,先将泥浆置于105℃鼓风干燥机中烘干至恒重,然后机械磨成颗粒直径小于1mm的细粉。水泥(P.O 42.5)由中国寿新公司提供。

采用BT-9300ST型激光粒度分布仪对渣土的粒径分布进行了表征,结果显示渣土的粒径分布范围在0.1~1000 μm,中位径约为5 μm。X射线荧光光谱仪(XRF, AXS S4 Explorer, Bruker, Germany)和X射线衍射(XRD, D8 Advance, Bruker, 德国)分析结果表明,渣土的主要化学组成为SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO和K₂O,主要矿物组成为石英、方解石和白云母。扫描电子显微镜(SEM, Quanta TM 250, FEI, USA)观测结果显示,渣土颗粒形状不规则且表面比较疏松。

2.2 配合比设计

本实验所用配合比如表1所示,使用了四种不同的水泥:渣土混合比例(90:10、70:30、50:50和30:70)。为了满足试验要求,通过调整水固比将不同配合比下混合浆体的扩展度控制在270±10 mm,同时研究了三种发泡剂掺量下(7%、11%和15%)样品的性能。

2.3 泡沫水泥-渣土砌块和陶粒的制备

首先利用单卧轴搅拌机将水泥、渣土、水和减水剂搅拌均匀,期间利用发泡机器将发泡剂预制成泡沫,然后将预制泡沫加入新拌水泥-渣土浆体中继续搅拌均匀。将泡沫-水泥-渣土浆体倒入50 mm×50 mm×50 mm尺寸的模具中,然后用塑料薄膜覆盖模具,置于23℃±2℃下固化48 h后脱模,最后在标准养护室内进一步固化28 d。最后将样品粉碎,并在20%浓度的碳化箱内碳化处理15 d。为了获得陶粒,

利用锤式破碎机将硬化后的泡沫混凝土粉碎,通过筛分得到不同粒径的陶粒。

表1 泡沫水泥-渣土砌块配合比

样品	渣土质量 (g)	水泥质量 (g)	减水剂 (%)	水固比	泡沫掺量 (%)
C1-1	500	4500	1.5	0.23	7
C1-2	500	4500	1.5	0.23	11
C1-3	500	4500	1.5	0.23	15
C2-1	1500	3500	1.5	0.24	7
C2-2	1500	3500	1.5	0.24	11
C2-3	1500	3500	1.5	0.24	15
C3-1	2500	2500	1.5	0.25	7
C3-2	2500	2500	1.5	0.25	11
C3-3	2500	2500	1.5	0.25	15
C4-1	3500	1500	1.5	0.26	7
C4-2	3500	1500	1.5	0.26	11
C4-3	3500	1500	1.5	0.26	15

2.4 测试方法

2.4.1 泡沫性能测试

泡沫性能的好坏是决定样品质量的主要因素之一。根据JC/T2199—2013《泡沫混凝土泡沫剂规范》中规定的方法,对发泡剂的发泡倍数、泡沫的1 h泌水率和1 h沉降距进行了测试,结果如表2所示。通过与标准中规定值相比,本实验使用的发泡剂为一级,用其制备的泡沫稳定性良好。

表2 发泡剂和泡沫性能

性能	测试值	标准规定值
发泡倍数(%)	26.58	15~30
1 h沉降距(mm)	24.32	≤50
1 h泌水率(%)	45.01	≤70

2.4.2 抗压强度测试

利用电子万能试验机(EH-9000S)对固化3 d、7 d、28 d的样品的抗压强度进行测试,加载速率为0.5 kN/s。每个配合比测试三个样品,取其平均值作为最终的抗压强度。

2.4.3 物理性能测试

对泡沫砌块的24 h吸水率进行测试,计算公式为:

$$W_a = \frac{m_1 - m_2}{V}$$

其中, W_a 为24 h吸水率(%), m_1 为吸水后试样质量(g), m_2 为干燥后试样质量(g), V 为试样体积(mL)。此外,还对样品的密度进行了测试:

$$\rho = \frac{m_3}{V} \times 1000$$

其中, ρ 为试样的密度(kg/m³), m_3 为试样的重量(g), V 为试样的体积(mL)。

2.4.4 浸出液 pH 测定

根据电解法测定pH值的方法测定陶粒浸出液的pH值。首先,每个样品取10 mL放入100 mL烧杯中;随后,向烧

杯中加入 50 mL 去离子水；搅拌 3 min 后密封放置至 24 h。最后，用校准的 pH 探头测量并记录浸出液的 pH 值。

3 结果与讨论

3.1 泡沫水泥 - 渣土砌块性能

3.1.1 泡沫水泥 - 渣土砌块的抗压强度

图 1 为养护 3 d、7 d 和 28 d 后不同砌块的平均抗压强度。由于水泥的水化作用，所有砌块的抗压强度均随着养护龄期的延长而增加。此外，砌块的抗压强度随渣土掺量的增加而降低。例如当泡沫掺量为 7%，渣土掺量由 10% 增加至 70% 时，养护 3 d、7 d 和 28 d 后砌块的强度分别由 8.3 MPa 降为 0.1 MPa，11.8 MPa 将为 0.2 MPa，和 19.2 MPa 降为 0.6 MPa。这是因为渣土活性较低，随着渣土掺量的增加，水泥含量降低，最终水化生成的 C-S-H 凝胶量降低。与此同时，由图 1 还可以看出，随着泡沫掺量的增加，砌块的抗压强度降低。例如，当渣土掺量为 50%，泡沫掺量由 7% 增加至 15% 时，样品的 3 d、7 d 和 28 d 强度分别由 3 MPa 降低至 0.3 MPa，5 MPa 降低至 0.5 MPa，和 5.4 MPa 降低至 0.9 MPa。这是因为泡沫的增加导致样品内部孔隙增多，孔径增大。

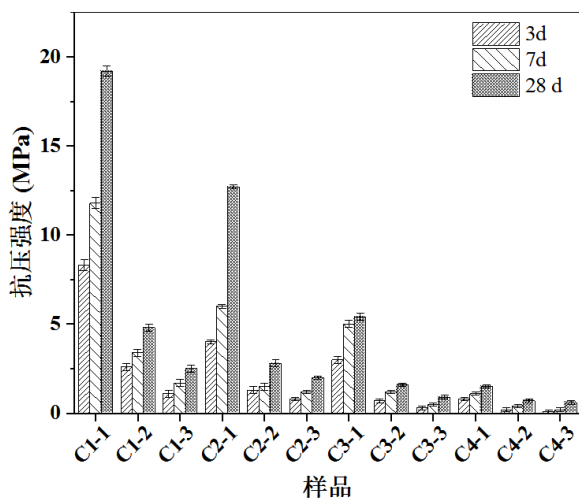


图 1 泡沫水泥 - 渣土砌块的抗压强度

3.1.2 泡沫水泥 - 渣土砌块的密度和吸水率

图 2 所示为不同泡沫掺量下渣土砌块的密度。当渣土掺量从 10% 增加到 30% 时，C1-1、C2-1、C3-1、C4-1 砌块的密度缓慢下降了 0.6%。而当渣土掺量在 30%~50% 范围内时，砌块的密度迅速降低了 12.85%。当渣土掺量继续增加至 50%~70% 时，砌块的密度迅速降低了 30.31%。由此可以看出，砌块的密度随渣土掺量的增加而降低。一方面，这是由于随着渣土掺量的增加，浆体的黏度增加，泡沫的稳定性越好；另一方面，渣土的比重低于水泥的比重，所以导致砌块的密度随渣土掺量的增加而降低。此外，由图 2 还可以看出，砌块的密度随泡沫掺量的增加而降低。泡沫掺量在 7%~11% 范围内，C3-1、C3-2 和 C3-3 样品的密度迅速下降

56.23%。而当泡沫掺量在 11%~15% 之间时，样品的密度缓慢下降 21.13%。总之，泡沫渣土砌块的密度随着渣土和泡沫掺量的增加而降低。

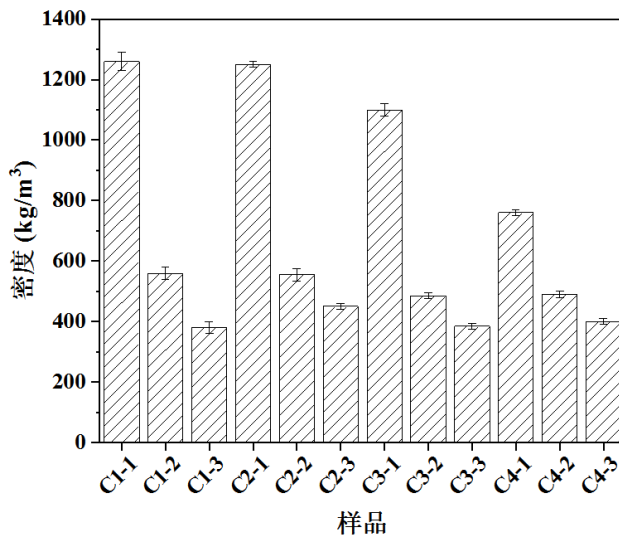


图 2 泡沫水泥 - 渣土砌块的密度

固化 28 d 后泡沫渣土砌块的吸水率如图 3 所示，砌块的吸水率在 5.25%~91.03%。当泡沫掺量固定为 7% 时，渣土掺量为 70% 的砌块的吸水率最高，达到了 23%。这是由于与水泥相比，渣土的吸水率相对较高。当渣土掺量恒定时，随着泡沫掺量的增加，砌块的 24 h 吸水率提高。这是由于加入泡沫后，砌块内孔隙大量形成，平均孔径增大所致。此外，对比图 1 泡沫混凝土样品的抗压强度结果可以发现，吸水率越大的样品密度越低，且抗压强度越低。

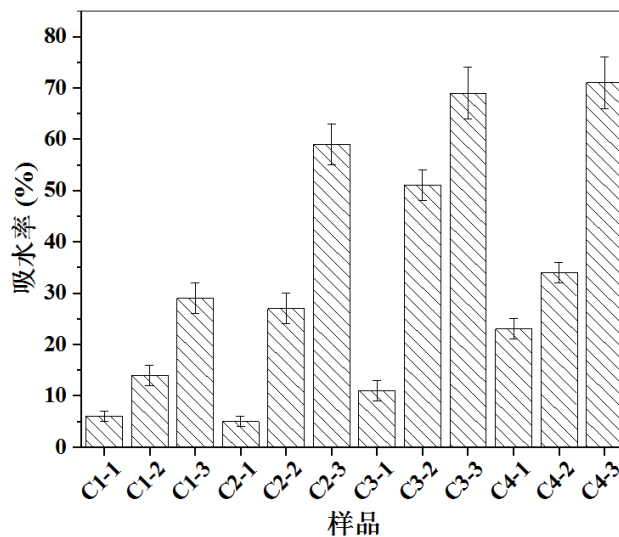


图 3 泡沫水泥 - 渣土砌块的吸水率

3.2 渣土陶粒的性能

3.2.1 渣土陶粒的粒径分布

破碎技术被广泛应用于陶粒的制备。图 4 显示了从破碎的 C3-2 样品中获得的不同粒径大小的陶粒颗粒 (< 1mm、

1~3 mm 和 3~6mm)。图 5 为不同样品破碎后所得陶粒的粒径分布。其中小于 1 mm 的陶粒可回收再用于泡沫渣土砌块的制备, 1~3 mm 和 3~6 mm 的陶粒可直接应用于工程应用。

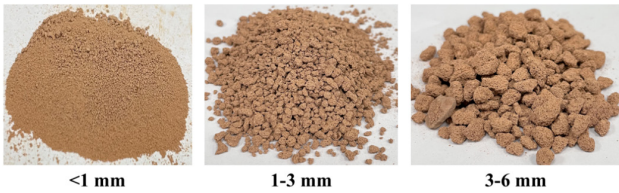


图 4 渣土陶粒的表现形貌

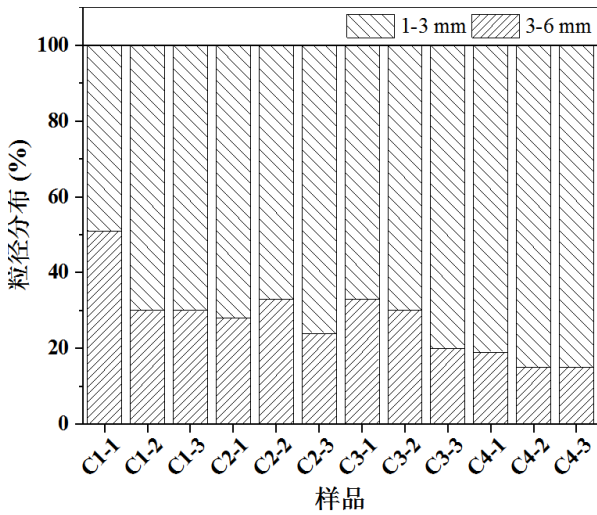


图 5 破碎后渣土陶粒的粒径分布

3.2.2 渣土陶粒的吸水率

不同渣土陶粒的吸水率如图 6 所示, 其吸水率在 8.42%~35.49%。由于渣土的吸水性较高, 与渣土掺量较低 (50%、30%、10%) 的陶粒相比, 泡沫掺量为 7%, 渣土

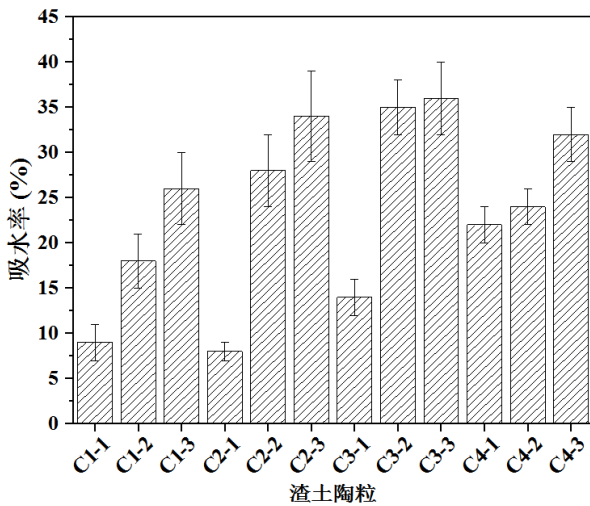


图 6 渣土陶粒的吸水率

掺量为 70% 的陶粒吸水性较高 (21.48%)。考虑泡沫掺量在 7%~15% 范围内的影响, 发现随着泡沫掺量的增加, 陶粒的吸水率增大, 这是由于陶粒的孔隙体积和孔径增大所致。

3.2.3 渣土陶粒的堆积密度

图 7 为不同陶粒的堆积密度。陶粒的堆积密度随渣土掺量的增加而降低。随着渣土掺量从 10% 增加到 30%, C1-1、C2-1、C3-1 和 C4-1 陶粒的堆积密度缓慢下降 1.1%。当渣土掺量从 30% 增加到 50% 时, 陶粒的堆积密度迅速降低了 12.82%。而当渣土掺量在 50%~70% 之间时, 陶粒的堆积密度迅速降低了 24.51%。堆积密度的降低主要归因于以下几点: 首先, 渣土掺量会影响泡沫的稳定性; 其次, 渣土比重低于水泥比重; 最后, 泡沫渣土砌块的密度随着泡沫掺量的增加而降低。当泡沫掺量从 7% 增加到 11% 时, C3-1、C3-2 和 C3-3 砌块的密度迅速下降 54.11%。当发泡剂含量在 11%~15% 时, 砌块的密度缓慢下降 10.26%。这主要是由于在搅拌过程中泡沫被破坏, 过量的泡沫将小孔变成了大孔。泡沫渣土砌块的密度随着泡沫掺量和渣土掺量的增加而降低。破碎后, 陶粒内部孔隙破裂, 使样品的疏松密度降低。

3.2.4 渣土陶粒浸出液的 pH

碳化前和碳化 15 d 后陶粒浸出液的 pH 值如图 8 所示。由测定结果可以看出, 碳化前渗滤液的 pH 值为 10.28~12.34, 且浸出液的 pH 值随渣土掺量的增加降低。这是因为水泥中氧化钙含量较高, 水化过程中会生成氢氧化钙, 浸泡后碱性物质扩散至溶液中, 导致 pH 升高, 而这将不利于植物生长。碳化 15 d 后, 陶粒内碱性氢氧化物与 CO₂ 发生矿化反应转变为稳定的碳酸盐, 使得浸出液的 pH 值降低至 7.54~8.32。此环境将有利于植物生长。

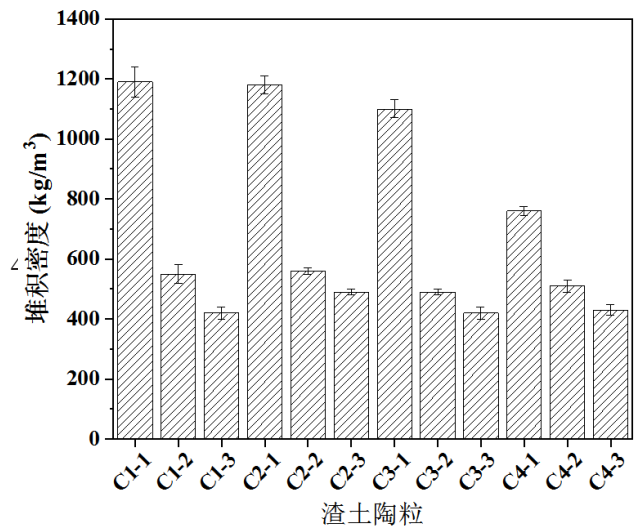


图 7 渣土陶粒的堆积密度

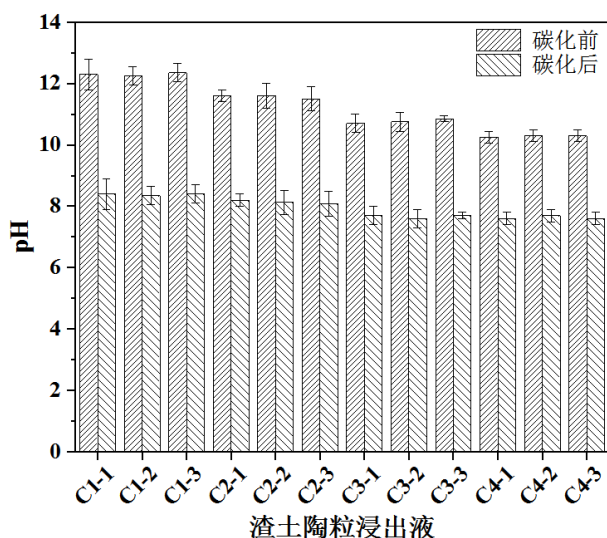


图8 碳化前后渣土陶粒浸出液的 pH 值

4 结论

研究了洗砂泥浆掺量和泡沫掺量对泡沫水泥-渣土砌块和渣土陶粒物理性能的影响，主要结论如下：

①随着洗砂泥浆掺量的增加，浆体的黏度增加，泡沫稳

定性提高；

②由于过量的泡沫降低了浆体的黏度，导致预制泡沫的稳定性下降，在砌块内产生大量更大尺寸的孔隙；

③洗砂泥浆掺量和泡沫掺量的增加影响了样品的物理性能。当泡沫掺量一定，洗砂泥浆掺量由10%增加至70%时，砌块的28d抗压强度和密度最高可分别降低92.2%和39.7%、吸水率最高可增加35.3%，陶粒的吸水率最高增加69.2%、堆积密度最高降低36.1%；当洗砂泥浆掺量一定，泡沫掺量由7%增加至15%时，砌块的28d抗压强度和密度最高可分别降低87%和69.8%、吸水率最高增加91.5%，陶粒的吸水率最高增加76.5%、堆积密度最高降低64.7%；

④在制备泡沫水泥-渣土砌块的基础上使用破碎工艺生产的泡沫渣土陶粒，碳化处理后具有良好的工程性能。

参考文献

- [1] 陈家珑.我国建筑垃圾资源化利用现状与建议[J].建设科技,2014(1):8.
- [2] 黄志斌.深圳市余泥渣土处理设施现状和对策[J].环境卫生工程,2013(1):50.
- [3] 李又云,李哲.建筑渣土在城市道路中的应用研究[J].公路,2013(7):235-240.