

再生骨料研究现状及强化方法综述

王雷

中交瑞通路桥养护科技有限公司

摘要:对废弃混凝土进行破碎加工得到颗粒被称之为再生骨料,利用再生骨料不仅可以有效解决废弃混凝土堆放问题,还有利于缓解砂石材料短缺紧张的现状。但是由于再生骨料存在吸水率高、压碎值大、堆积密度小等问题目前还无法完全取代天然砂石材料,本文对国内外再生骨料发展现状及研究动态以及常用的再生骨料改性方式进行了总结介绍,以期对再生骨料的进一步发展和应用提供参考。

关键词:废弃混凝土;再生骨料;改性技术

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2023.05.103

引言

改革开放以来,我国城市建设进入快车道,城市住宅道路的更新以及市政拆迁规模的扩大,大量的混凝土结构被拆除,进而产生了大量废弃混凝土。据统计,我国每年因老旧建筑物拆除产生的废弃混凝土就已经达到了1~2亿吨^[1]。大量废弃混凝土如果仅仅是通过简单填埋处理或者运往郊外进行堆放,不仅不利于环境保护,同时还会造成砂石材料的大量浪费。随着“双碳”政策的出台以及可持续发展战略的深入,人们迫切希望找到合理的方式对废弃混凝土进行处理。对混凝土进行破碎加工成再生骨料,用来部分或者全部代替天然砂不经可以较好的解决掉废弃混凝土处理问题,还有利于缓解砂石材料紧张现状。本文对国内外再生骨料发展现状及研究动态以及常用的再生骨料改性方式进行了总结,以期对再生骨料的发展和应用提供一定的参考。

一、我国发展现状及研究动态

虽然现在我国建筑行业对于可再生混凝土应用研究起步还是比较晚,但也得到各地政府部门的普遍重视。1997年,建设部科技成果项目中增加了“建筑垃圾综合利用”。在政策上相关部门积极引导,在资金上国家予以支持。有关公司响应号召进行混凝土废弃物回收再利用,对建筑垃圾进行资源化处理。同时,再生混凝土材料的基本性能相关实验陆续开展,如强度指数、弹性模量、变形性能、耐久性。对再生粗骨料生产工艺,如加热研磨法制备再生粗骨料、微波循环加热法剥离再生粗骨料表面的硬化水泥砂浆、机械研磨法结合化学法制备再生粗骨料进行研究。和对再生粗骨料生产设备,如破碎筛分设备、传送设备和除杂设备进行研究。再生混凝土主要集中在道路建设方面。长安大学项目开展到了利

用水泥混凝土废弃物进行城镇道路桥梁建设、土基修复和堤坝防护加固工程等的课题研究,分解的混凝土回收后,可作为混凝土骨料和轻质骨料用于生产普通混凝土或强度达C30的高性能混凝土块。

二、再生骨料生产工艺

目前国内外再生骨料生产方式很多,但基本上都是通过破碎、传输、筛分等设备将废弃混凝土进行破碎、筛分以及除杂之后生产得到复合质量要求的再生粗细骨料。其步骤大致可以分为以下三步:

(1) 破碎:清除废弃混凝土中钢铁、泥土等杂质,然后利用破碎机将废弃混凝土破碎成粒径为40mm左右颗粒,再利用鄂式破碎机或者圆锥式破碎机将其破碎成更小的颗粒。

(2) 强化:利用物理、化学或者微生物等强化方式对破碎后的颗粒进行强化。通过物理、化学或者生物的方式出去颗粒表面的水泥浆或者填充颗粒表面和内部裂缝,改善颗粒表面性能。

(3) 筛分:将经过破碎和强化后的颗粒进行筛分,得到复合要求的粗细骨料。

三、再生骨料损伤机理

通过研究再生混凝土的损伤特性可以探究再生骨料的损伤机理。通过对再生混凝土进行抗拉实验发现,导致再生混凝土破坏的原因是骨料和砂浆交界处出现破坏,而不是骨料拉断导致的破坏;同时,随着再生骨料的增加,再生混凝土骨料和砂浆交界的裂缝也更加明显。在水灰比、龄期和取代率会对再生混凝土的抗压强度产生影响,而再生骨料的破坏面的出现是由于水凝胶体和粗骨料的黏结破坏导致的。从以上研究不难发现,导致再生混凝土抗压和抗拉性能降低的原因是在再生骨

料和老砂浆之间出现发生了破坏。同时相关研究表明,再生混凝土的抗渗、抗盐离子侵蚀以及抗冻性能等都低于普通混凝土。为了改善再生混凝土的性能,需对再生骨料进行强化处理,以改善骨料性能。

四、再生骨料强化

(一) 物理强化

物理强化主要是通过物理外力的作用去除集料表面的旧砂浆,以此提高骨料综合性能。使用颚式破碎机破碎废弃混凝土后,对废弃混凝土预加热到 400°C ,发现可以显著提高水泥砂浆去除的效率。结合加热法和摩擦法处理废弃水泥混凝土,首先将废弃水泥混凝土加热到 300°C ,使得骨料表面的硬化水泥砂浆脱水脆化,然后输送到研磨设备,进行二次研磨。通过实验指出当加热温度高于 300°C 时,废弃水泥混凝土由于脱水变得易脆,热膨胀产生的热应力大于抵抗力,硬化的水泥砂浆产生裂缝,更容易从骨料表面去除。研发了一种用于分离废弃混凝土中骨料与砂浆的装置,实验结果表明再生骨料表观密度较低,空隙率、压碎指标和吸水率与天然骨料接近。水中和等人研究了机械力与加热法对废弃水泥混凝土的结构与性能的影响,研究表明在 $500\sim 550^{\circ}\text{C}$ 时,砂浆与骨料的热膨胀差异最大,骨料和砂浆之间的界面发生弱化,通过球磨机施加碰撞和磨擦作用,硬化水泥砂浆与骨料分离,制备出与天然骨料有相似物理性能的再生骨料。分析了现有的破碎工艺,总结目前国内外再生骨料生产工艺上存在的不足,提出对再生骨料先进行烘干热处理。

对于一般形式的加热而言,微波加热速度更快且相同材料受热更为均匀,利用微波对水泥砂浆涂有氧化铁的混凝土材料进行加热,结果表明在相同加热时间内,混凝土最高温度超过 400°C ,混凝土中的水泥砂浆产生微裂纹,水合物分解,硬化的水泥砂浆弱化,能显著提高水泥砂浆的剥离率。评估了微波辅助回收高质量骨料的可行性,对废弃水泥混凝土进行不同功率和不同时间的微波照射,研究表明微波加热后,废弃水泥混凝土的断裂能降低,破碎比高,水泥砂浆与骨料易分离,证明了微波辅助加热技术能有效提高再生骨料的回收效率。还对比研究了高压脉冲放电技术和微波加热技术制备再生骨料,研究表明两种技术都能提高砂浆的去除效率,相比较而言,高压放电脉冲技术效率

更高,能耗更低,缺点是需将废弃水泥混凝土放置在水中。使用微波循环加热的方法剥离再生骨料表面的硬化水泥砂浆,以提高再生骨料表面的洁净度,研究结果表明微波加热改性的再生骨料具有较为理想的剥离效果。微波照射对混凝土破坏及其强度的影响,结果表明经过微波照射后,废弃混凝土粗骨料与其硬化水泥砂浆之间的结合强度降低,随着微波照射功率和照射时间的增加,混凝土强度降低越快,废弃水泥混凝土的破碎能越低,再生骨料的硬化水泥剥离变得容易。

(二) 化学强化

通过对废弃混凝土添加化学添加剂制备的再生骨料品质更高,但是时间长效率低。通过向混凝土搅拌车添加无毒添加剂进行骨料再生,将废弃混凝土中的水泥砂浆和骨料直接分离,使用 HCl 、 H_2SO_4 、 H_3PO_4 三种酸性溶液对混凝土进行预浸泡处理,降低再生骨料表面附着的水泥砂浆,研究结果表明酸性溶液浸泡处理后的再生骨料吸水率降低,与传统方法相比质量有着明显的提升。使用 H_2SO_4 溶液、 HNO_3 溶液、 HCl 溶液和 HCl +硅粉溶液对再生骨料进行强化处理,研究表明 H_2SO_4 溶液处理效果最好,比重更接近天然骨料, HCl +硅粉溶液处理的再生骨料致密性好。

研究通过研究废弃混凝土性质和来源,提出掺入适当外加剂来改善其耐久性及其他力学性能,来解决再生骨料混凝土用水量较大、干缩率较高的问题,使其达到一般结构使用要求。王程等通过对混凝土再生骨料进行热处理、水玻璃改性、添加活性掺合料以及对混凝土再生骨料进行鉴别等可提高再生混凝土的性能。使用水泥、膨胀剂、硅粉和无机铝盐复合防水剂4种不同化学浆液对再生骨料进行强化处理,结果表明4种化学浆液均可使再生骨料的吸水率和表观密度增大,压碎指标降低,其中,使用无机铝盐复合防水剂浆液强化再生骨料的效果较好。使用不同化学法处理再生骨料,结果表明纯水泥浆、水泥浆+硅藻土、水泥浆+硅粉、水泥浆+矿粉以及聚乙烯醇外裹水泥法均能使再生骨料的表观密度增大,压碎指标降低,聚乙烯醇外裹水泥法能降低再生骨料吸水率,其他方法均增大了吸水率。陈建良等人采用机械研磨法结合化学法制备再生骨料,使再生骨料的表观密度增大 $40\sim 50\text{kg}/\text{m}^3$,吸水率降低 $2.5\sim 4$ 倍,压碎指标降低1倍。

(三) 微生物强化

微生物强化技术是利用自然界某些微生物产生的不溶性物质CaCO₃沉淀来填充再生骨料中存在的裂缝和孔隙。以Ca(NO₃)₂和尿素为培养基,利用球形芽孢杆菌处理再生骨料,结果表明再生骨料吸水率明显下降,利用处理后制成的混凝土性能改善明显,综合性能接近普通混凝土。这是因为微生物吸引钙离子和尿素分解产生的CO₃²⁻,在微生物表面产生了CaCO₃沉淀,填充了再生骨料内部裂缝,降低了再生骨料吸水率,增加了再生骨料强度。而微生物强化产生的CaCO₃沉淀受到外界环境、微生物种类和强化时间等因素的影响。研究表明CaCO₃生成量

随着温度、微生物浓度以及钙离子浓度的增加而增加。利用尿素分解产生CO₂可能产生的副产品可能残留在再生骨料表面,对再生骨料使用形成产生影响,利用细菌代谢产生的CO₂生成CaCO₃沉淀则不会产生副产品进而对再生骨料的性能产生影响。利用含有嗜碱芽孢杆菌的改性液对再生骨料进行改性,结果表明再生骨料性能提升明显,同时发现通过该方法后,小颗粒骨料的改善效果优于大颗粒骨料。通过SEM实验发现,经过嗜碱芽孢杆菌的改性液处理后的骨料表面生成了CaCO₃颗粒,这是因为嗜碱芽孢杆菌产生的碳酸酐酶能促进CO₂生成CaCO₃。

(四) 各种强化方法对比

	物理强化	化学强化	微生物强化
优点	(1) 工艺简单; (2) 操作便捷; (3) 成本低,产量高可大规模应用	(1) 不会产生大量粉尘; (2) 强化效果较好; (3) 可用来强化的化学溶液种类较多,便于配置和选择	(1) 绿色环保,发展潜力大; (2) 没有附加有害物质产生,对再生骨料无害; (3) 具有更好的流动性,骨料裂缝修复效果更好。
缺点	(1) 设备庞大,能耗大、设备磨损严重; (2) 会使再生骨料产生更多微裂缝,降低再生骨料强度和使用性能; (3) 运作过程中会产生大量粉尘,对环境产生污染。	(1) 导致再生骨料中有害物质增加; (2) 成本较高; (3) 过量使用会对环境造成污染	(1) 操作较为复杂,目前技术限于实验室阶段,无法大规模推广应用; (2) 成本高,产量低; (3) 菌种培育存在局限性。

五、总结与展望

(1) 国内外对再生骨料的研究取得了巨大的进步,但是目前的研究都是针对再生骨料的应用进行研究,而缺乏对再生骨料吸水率高、压碎值高、堆积密度小等问题进行深入系统的研究。

(2) 再生骨料来源众多,品质参差不齐。改性方式不同,改性效果也随之存在差异。在现有的技术和基础之上,今后还需探究更多、更优的改性方法或对现有方法进行改进,以提高改性效果,推进再生骨料的大规模应用。

参考文献

- [1] 王雄飞, 邓春铭, 柯锡群. 建筑废弃物管理制度优化分析[J]. 当代经济, 2017(10): 56-58.
- [2] 张家兴. 再生混凝土多轴压强度试验及破坏准则研究[D]. 北方工业大学, 2015.
- [3] 肖建庄, 李佳彬, 孙振平, 郝眩明. 再生混凝土的抗压强度研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2004(12): 1558-1561.
- [4] 雷静果, 张日华. 废弃混凝土分离及应用研究[J]. 新型建筑材料, 2012, 39(6): 56-57.
- [5] 水中和, 玄东兴, 曹蓓蓓. 热-机械力分离制备

高品质再生粗骨料的研究[J]. 混凝土, 2006(12): 60-62.

- [6] 周军, 王欣, 朱平华. 混凝土骨料再生设备及工艺研究[J]. 混凝土, 2008(1): 125-127.
 - [7] 肖建庄, 吴磊, 范玉辉. 微波加热再生粗骨料改性试验[J]. 混凝土, 2012(7): 55-57.
 - [8] 陈新年, 戴俊, 孟振. 微波辅助机械剔选再生混凝土骨料技术[J]. 西安科技大学学报, 2013, 33(5): 604-608.
 - [9] 瞿尔仁, 杨木旺, 叶桂花, 张业平, 徐金. 再生混凝土技术及其应用[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2003(06): 1183-1187.
 - [10] 范小平, 徐银芳. 再生粗骨料的强化试验[J]. 上海建材, 2005, (4): 22-23.
 - [11] 杨宁, 王崇革, 赵美霞. 再生粗骨料强化技术研究[J]. 新型建筑材料, 2011, 38(3): 45-47.
 - [12] 陈建良, 倪竹萍. 强化处理改善再生粗骨料混凝土性能试验[J]. 低温建筑技术, 2011, 33(2): 14-16.
- 作者简介: 王雷(1987-), 男, 工程师, 主要从事桥梁工程方向研究。