

# 施工现场废弃混凝土高效回收应用

康 磊

(中铁十六局集团第五工程有限公司, 河北 唐山 064000)

**摘要:**郑州市四环线及大河路快速化工程建设中产生大量的废弃混凝土。从降低运输成本、减少自然资源消耗、节约用地空间的角度出发,决定对该段建设中产生的废弃混凝土进行回收再应用。文章结合施工现场的实际情况,介绍了对施工现场废弃混凝土骨料及其再生混凝土砌块性能的测试过程和结果,论述了这部分废弃混凝土于现场就地再应用的技术可行性。

**关键词:**废弃混凝土;回收再利用;再生骨料;混凝土砌块

**中图分类号:** TU528.09 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-3922(2020)-06-0008-04

## 1 背景介绍

目前,我国正处于城市市政路网大建设时期。郑州市四环线及大河路快速化工程,该段总长92km,预算为378亿人民币,我公司承建西四环5.6km,截止日期为2019年初。项目在施工过程中产生大量的废弃混凝土,且随着项目继续进行将会产生更多的废弃混凝土。这些废弃混凝土主要来源于以下方面:

(1)大量强度等级为C25/C30的深基础素混凝土桩桩头将被去除。

(2)大量既有钢筋混凝土结构和基础设施的拆除。拆除桥混凝土强度等级为C40/C50,服役年限大部分不足一年。

(3)实验室浇筑的混凝土试件。由于清水混凝土质量要求较高,故在实验室中预浇筑大量混凝土试件进行测试,以保证混凝土质量。此外,丢弃的预制构件也是废弃混凝土部分来源。

(4)施工混凝土过程中遗落在现场和冲洗泵管丢弃的废料。

在过去的几十年中,废弃混凝土研究工作主要集中于废弃混凝土破碎工艺、再生骨料混凝土配合比技术、再生骨料混凝土力学性能和耐久性能以及结构用再生骨料混凝土设计方面。大量的研究表明,用再生骨料制作再生骨料混凝土是可行的,即使将生产的再生骨料混凝土用于承重结构也能满足相应要求。此外,该技术还可获得一定经济效益,故可广泛推广。

尽管技术日趋成熟,但在该项目中应用废弃混凝土回收再应用的理念仍面临一些重大挑战。这些挑战包括:

(1)在施工现场,没有专门设计的用于破碎废

弃混凝土的加工厂。

(2)由于废弃混凝土加工过程中可能产生噪音和灰尘,因此,很难在工地上用移动破碎机进行废弃混凝土的破碎。

(3)缺乏相应技术与理论,如废弃混凝土加工、再生混凝土配合比设计和再生粗骨料对混凝土性能的影响等。

(4)工期非常紧张,这意味着废弃混凝土的回收和再利用不应影响工作计划,也不应给实验室技术人员和建筑工人增加太多额外工作。

为克服这些困难,一致决定在一个有经验的学术机构指导下进行回收和再应用废弃混凝土工作。为此,聘请鲁汶大学建筑材料回收利用研究中心作为技术顾问。根据该研究中心建议,按下列流程开展了研究工作:

(1)在天然石料加工厂破碎废弃混凝土。

(2)仅以再生粗骨料生产再生骨料混凝土,以保证再生骨料混凝土满足相应规范要求。

(3)按GB/T 14685-2011《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》测试再生骨料性能。

(4)利用再生骨料生产非承重构件,再考虑将其用于生产结构的再生骨料混凝土。

## 2 再生骨料的加工及性能

### 2.1 废弃混凝土破碎

本课题组选择了距离废弃混凝土收集地约10km的天然石料加工厂用以加工破碎废弃混凝土。

由于破碎过程对再生骨料的性能有重要影响,因此,需对加工厂破碎设备和破碎工艺进行考察。课题组首先对实验室浇筑混凝土试件在该加工厂破碎所得的再生骨料性质进行了测试。

母混凝土骨料最大粒径为31.5mm,强度等级为

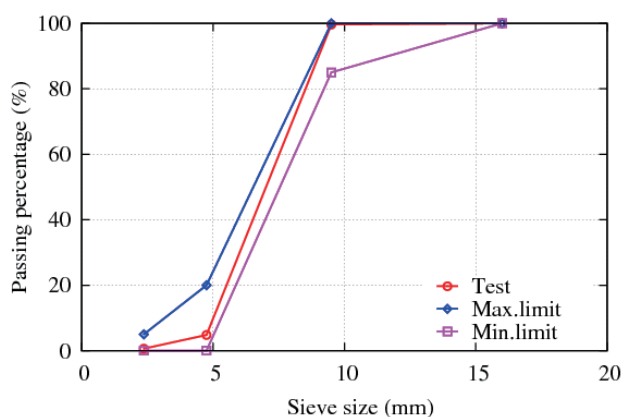
C30/C37~C45/C45。混凝土试件经颚式破碎机初破碎,然后由锤式破碎机二次破碎,整个破碎过程与天然骨料的加工过程完全相同。破碎所得的再生骨料有3种粒径范围:5~10mm、10~20mm、16~31.5mm。各种粒径的再生骨料表面都较粗糙且有棱角。类似于之前相关研究结果,破碎所得再生骨料表面附着有水泥砂浆。

## 2.2 再生骨料性能

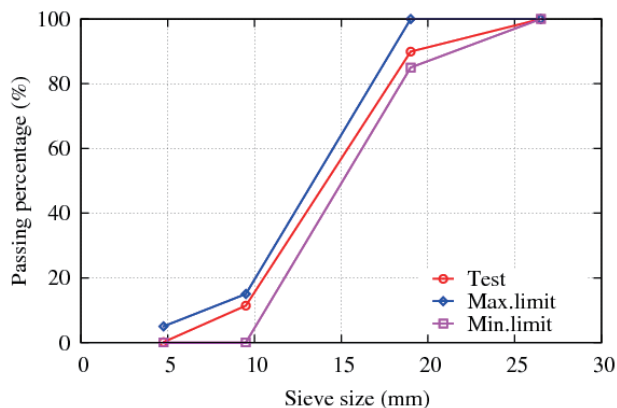
实验室根据《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(GB/T 14685-2011)对再生骨料性能进行测试。测试项目包括:粒径级配、堆积和表观密度、吸水率、针片状指数和压碎指标。

再生骨料级配曲线如图1所示。由图1(a)~(c)可见,3种粒径范围再生骨料的级配曲线均符合GB/T 14685-2011中规定的最大和最小限值,这意味着再生粗骨料可满足该规范对混凝土用粗骨料的级配要求。

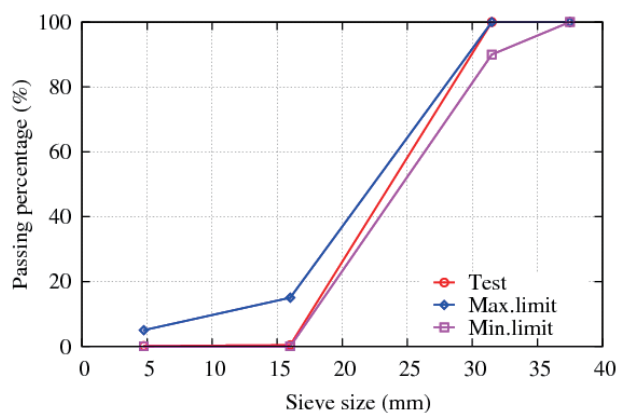
图1(d)展示了一个重组骨料的级配曲线,其中5~10mm、10~20mm和16~31.5mm的骨料比例分别为20%、50%和30%,可以看出,重组骨料的级配曲线也符合混凝土粗集料的级配曲线。图1给出了再生骨料的其他物理和力学性能的测试数据。从图1中可以看出,在本项目中获得的再生粗骨料能满足欧洲标准和中国对混凝土用骨料的应用标准。



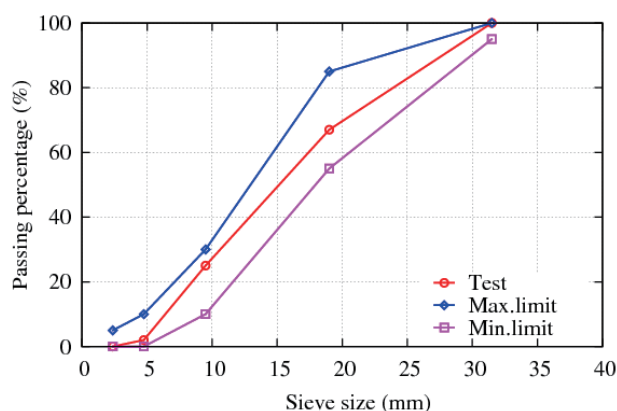
(a) 5~10mm



(b) 10~20mm



(c) 16~31.5mm



(d) 5~31.5mm

图1 再生骨料级配曲线

## 3 再生骨料生产混凝土砌块

如上所述,施工现场废弃混凝土经天然骨料加工厂破碎所得的再生骨料满足规范要求。因此,可使用该再生骨料生产混凝土。考虑现场实际情况,决定暂将再生骨料用以配置市政道路护坡用预制混凝土砌块。由于混凝土砌块墙体厚度小,仅为5cm,故只选用5~10mm的再生粗骨料用以生产混凝土砌块。

国内行业标准出于该砌块工作环境和耐久性考虑,要求最低混凝土强度等级C25。此外,为便于砌块的生产,要求坍落度为180~200mm。

### 3.1 材料

项目中水泥采用郑州荥阳天瑞公司生产的低碱硅酸盐水泥;砂采用项目部工程用砂,砂的粒径为0~5mm;粗骨料全部采用废弃混凝土破碎所得的5~10mm再生粗骨料;减水剂为山西产格瑞特高效减水剂;水为项目用普通自来水。

### 3.2 混凝土配合比

基于试验数据,课题组为护坡用混凝土砌块提供了3组配合比,如表1所示。3组配合比具有相同水灰比,即0.6,但水泥浆量不同。应指出的是,表1中所列材料用量为绝干状态下的用量,在实际拌合混凝土时应考虑砂的含水率。另外,由于再生骨料含水率较高导致了补偿水的用量增加,这部分

增加的用水量由再生粗骨料的吸水率决定。

表 1 混凝土配合比

配合比	重量 /kg/m <sup>3</sup>				
	水泥	沙	粗骨料	水	减水剂
配合比 1	310	1 245	555	186	2.17
配合比 2	320	1 220	555	192	1.60
配合比 3	350	1 147	555	210	1.40

3.3 试样制备

施工现场的中心实验室采用机械搅拌的方式完成了混凝土的拌合工作。经测试，按 3 种配合比配置的混凝土坍落度均在 180~200mm 范围内，满足和易性要求。

完成坍落度测试后，将 3 组混凝土拌合物制成 150mm×150mm×150mm 立方体试块，每组 21 个。并将试块放入 20℃、相对湿度为 95%（标准养护条件下）的养护室进行养护，在达到相应的养护龄期后，分别测量其 1d、2d、3d、7d、14d、21d 和 28d 的抗压强度。28d 养护龄期抗压强度增长曲线如图 2 所示。

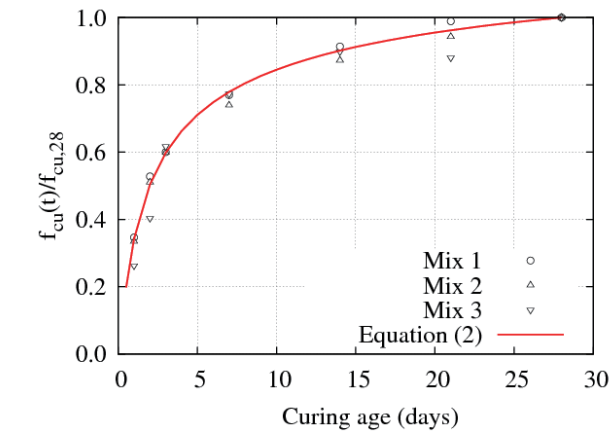


图 2 28d 养护龄期抗压强度增长曲线

3.4 混凝土强度测试结果及分析

对混凝土试块按照国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》（GB 50081-2002）测试抗压强度。具体实施在同一测试龄期，对每组配合比测试 3 个试件以取其平均值，测试结果见表 2。由表中数据可知，混凝土抗压强度随养护龄期增长而增强，其强度主要增长发生在前 7d，之后混凝土抗压强度的增长趋势变缓。这表明，再生骨料混凝土强度增长趋势与传统的天然骨料混凝土强度增长趋势相吻合。经过 28d 养护后，3 组配合比的混凝土试块表现出相似性质，且均达到混凝土砌块的强度要求。

表 2 混凝土强度测试结果

配合比	抗压强度 /MPa						
	1d	2d	3d	7d	14d	21d	28d
配合比 1	10.39	15.82	17.99	23.07	27.40	29.65	29.98
配合比 2	10.51	16.04	18.80	23.23	27.42	29.63	31.42
配合比 3	8.28	12.73	19.46	24.37	28.33	27.77	31.53

中国水电科学院朱伯芳院士提出了以下公式来描述混凝土抗压强度与时间的关系：

$$f_{cu}(t) = f_{cu,28} \left[ 1 + \lambda \ln \left( \frac{t}{28} \right) \right] \quad (1)$$

式中， $f_{cu}(t)$ ——任意时间  $t$  的立方体抗压强度（MPa）；

$f_{cu,28}$ ——28d 混凝土立方体抗压强度（MPa）；

$t$ ——混凝土龄期（d）；

$\lambda$ ——取决于使用的水泥类型的系数，对于普通硅酸盐水泥， $\lambda=0.1727$ 。

在目前欧洲混凝土结构设计规范（EC 2）中，公式 2 用来描述时间与混凝土抗压强度的关系：

$$f_{cu}(t) = f_{cu,28} \exp \left\{ s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} \quad (2)$$

式中， $s$  也是一个取决于水泥类型的系数。对于普通硅酸盐水泥， $s=0.25$ 。

事实上，公式 1 和公式 2 具有相似的结果。图 3 展示了依据测试数据，运用公式 2 作出的预测结果比较。数据显示，依据公式预测的数据与测量数据吻合，这表明该模型也同样适用于本项目中的再生粗骨料混凝土。

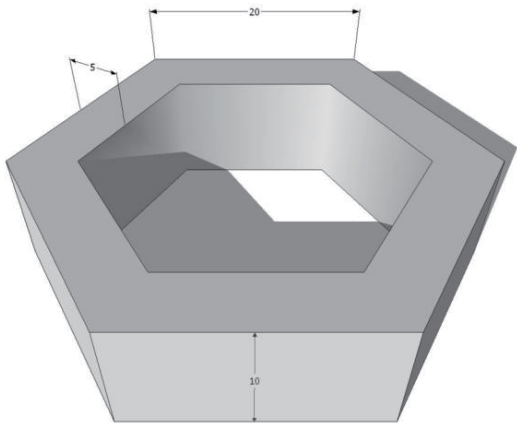


图 3 预制混凝土砌块

3.5 用再生粗骨料生产预制混凝土砌块

在确定混凝土配合比后，立即开展用再生粗骨料生产预制混凝土护坡砌块的工作。在护坡使用再生混凝土砌块表面未发现任何由于混凝土收缩引起的裂缝，表面质量较好。

4 结语

本文对郑州市四环线及大河路快速化工程建设中产生的废弃混凝土展开了于施工现场就地回收应用的研究。将废弃混凝土破碎得到的再生骨料作为粗骨料，生产用于市政道路护坡的预制混凝土砌块，实现了对再生粗骨料的高效应用。尽管遇到了一些重大挑战，但研究结果表明，用再生骨料生产混凝土砌块的尝试达到了预期效果。从该研究工作中可得出如下结论：

（下转第 19 页）



形不易产生开裂、空鼓、脱落,使用简便,缩短施工周期,对墙体表面不需作凿毛处理或使用界面剂,造价节省 10%~15%,石膏基抹灰砂浆成形的墙体面层保温、隔音、环保、节能效果良好。

石膏基抹灰砂浆的迅速发展与普及,为机械化施工技术成功应用提供有力保障。石膏基抹灰砂浆采用机器喷涂,进口或国产石膏基砂浆喷涂机均可适用,但不同厂家制造的喷涂机使用损耗费用、成本存在差异。WG5C 石膏基砂浆喷涂机的机体为形钢框架、设程序电控、相序保护,关键器件均采用国外技术,如德国 PFT 制造的 D6-3 螺杆泵(见图 9、图 10)。



图 9 WG5C 石膏基砂浆喷涂机

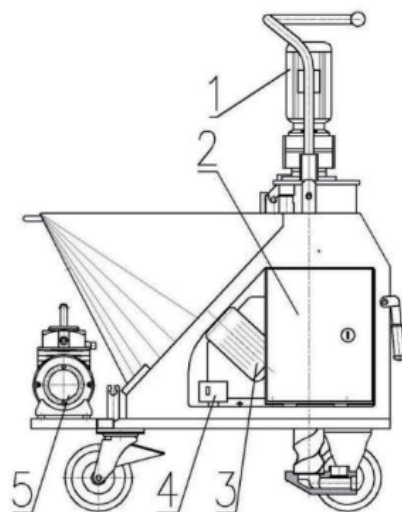


图 10 WG5C 结构简图

### 3 结语

工业副产石膏应用已在轻钢龙骨别墅墙体灌浆、砂浆地面找平、墙体饰面工程上得到普遍应用。工业副产石膏在建筑施工领域中的新应用,关键在于工业副产石膏材料品种的深度开发、成熟的施工工艺、完善的施工装备。由此可见,工业副产石膏在将来建筑施工领域中的应用必然延伸至更深层次,更广范围。

(上接第 10 页)

(1) 利用天然石料加工厂可获得具有良好级配的再生骨料。再生骨料由天然骨料加工厂中颚式破碎机与锤式破碎机搭配破碎废弃混凝土而成型。

(2) 再生骨料的物理和力学性能满足国内和欧洲标准,即可以使用再生骨料生产再生骨料混凝土。由于生产再生骨料的废弃混凝土服役年限不足一年且没有受到污染,因此,再生骨料混凝土的耐久性能满足要求。

(3) 通过优化配合比,再生骨料混凝土能同时满足工作性能和抗压强度要求。

(4) 再生骨料混凝土的抗压强度随养护龄期增

加而增加。类似于天然骨料混凝土强度增长趋势,养护 7d 后,再生骨料混凝土强度增加趋势减缓。

(5) 目前,在使用再生骨料大规模生产预制混凝土砌块的过程中未发现问题。

### 参考文献:

- [1] 王志伟. 建筑垃圾的开发和利用 [J]. 建筑技术开发, 2000(06):1.
- [2] 陆凯安. 我国建筑垃圾的现状与综合利用 [J]. 施工技术, 2005, 28(06):15-16.
- [3] 侯景鹏, 史巍, 宋玉普. 再生混凝土技术的研究开发及应用推广 [J]. 建筑技术, 2002(01):15-17.

(上接第 16 页)

所以,搞好石膏砂浆产品,必须建立一套完整的技术管理体系,也就是说,要建立一个完整的石膏砂浆应用实验室,配备专业人员,对石膏砂浆的原材料进行全方位检测,对石膏砂浆的内在质量、施工性进行控制,对石膏砂浆施工进行科学指导。

目前,石膏砂浆产品主要以轻质抹灰石膏砂浆、石膏粘接剂、免胶石膏、有砂石膏自流平、无砂石膏自流平为主,除了石膏内在质量合格,石膏产品的施工性也要好,石膏配方的成本要低,这样产品

才能进入市场。

### 4 结语

综上所述,预拌砂浆产品是近年来我国大力推广的绿色建材产品之一,是散装水泥绿色产业发展的重要内容。推广和应用预拌砂浆是减少工地扬尘,改善城市空气质量的有效途径;是综合利用建筑垃圾、粉煤灰等固体废弃物,推进清洁生产的重要手段;是提高建筑工程质量,推动建筑工业化进程的必由之路。