

# 建筑垃圾再生填料路基施工工艺与优化

李春雨

胶州市交通运输局, 山东 青岛

收稿日期: 2023年8月14日; 录用日期: 2023年9月12日; 发布日期: 2023年9月20日

## 摘要

为了对建筑垃圾再生填料路基施工工艺进行研究, 通过室内试验和现场试验段, 确定最优废旧混凝土块与废旧砖块的掺配比例, 并压实工艺进行优化, 得到以下结论: 当废旧混凝土和废旧砖块的比例为70:30时, CBR值达到最大, 其工程力学性质最佳。当碾压层厚度为20 cm时, 存在过度碾压现象并产生颗粒破碎, 碾压遍数不宜超过4遍; 当碾压层厚度为30 cm时, 最佳碾压遍数宜为6遍; 当碾压层厚度为40 cm时, 层底压实不充分、层顶过振破碎, 不宜进行路基施工。

## 关键词

建筑垃圾, 再生粒料, 施工工艺, 碾压遍数, 路基填料

# Construction Technology and Optimization of Construction Waste Recycling Filler Subgrade

Chunyu Li

Jiaozhou Transportation Bureau, Qingdao Shandong

Received: Aug. 14<sup>th</sup>, 2023; accepted: Sep. 12<sup>th</sup>, 2023; published: Sep. 20<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In order to study the construction technology of recycled aggregate roadbed from construction waste, the optimal mixing ratio of waste concrete blocks and waste bricks was determined through laboratory test and field test, and the compaction process was optimized. The following conclusion was obtained: when the ratio of waste concrete and waste bricks was 70:30, the CBR value reaches maximum, indicating the best engineering properties. When the thickness of the

compaction layer is 20 cm, excessive compaction may cause particle breakage, and the number of compaction passes should not exceed 4; When the thickness of the compaction layer is 30 cm, the optimal number of compaction passes should be 6; When the thickness of the compacted layer is 40 cm, with insufficient compaction at the bottom of the layer, excessive vibration and breakage at the top of the layer, it is not suitable to carry out roadbed construction.

## Keywords

Construction Waste, Recycled Granules, Construction Process, Number of Passes, Roadbed Filler

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

按照产生来源, 建筑垃圾可主要分为建筑废弃物、装修废弃物、建材废品废料、道路及建筑等拆除废弃物[1] [2] [3] [4] [5]。国家“十四五”规划提出, 推进大宗固废综合利用对提高资源利用效率、改善环境质量、促进经济社会发展全面绿色转型具有重要意义, 鼓励建筑垃圾再生骨料及制品在建筑工程和道路工程中的应用。

康晓燕[6]在建筑垃圾路基回填应用中, 对建筑垃圾的种类和具体施工工艺进行了研究, 并将优选的建筑垃圾种类在所依托项目中得到了良好的应用。李行[7]通过将建筑垃圾分为纯混凝土块和砖混结构两种进行基础试验研究, 发现两类材料均满足各级公路对路基材料的要求, 验证了建筑垃圾用于路基填料的可行性。李少康[8]对建筑垃圾再生材料进行室内试验分析, 提出建筑垃圾再生材料填筑路基的施工工艺、参数指标、检测方法及标准, 为后期建筑垃圾做路基填料奠定良好的基础。陈冬梅等[9]用建筑垃圾处治软土地基, 得到了不同建筑垃圾地基的沉降规律, 验证了建筑垃圾处治软土地基的良好效果。张威[10]研究了不同配比建筑垃圾对施工的影响, 得到了合理的碾压工艺和质量控制标准。

目前, 建筑垃圾填筑路基存在以下几个问题: 1) 对材料性能要求高: 建筑垃圾再生粒料的成分复杂, 组分的变异性较大, 粗粒料比重大, 不同组分间的强度特性相差较大; 2) 颗粒破碎问题严重: 施工过程中, 振动碾压成型过程对颗粒破碎和级配变化有着显著的影响; 3) 材料施工性能需优化: 不同施工工艺对建筑垃圾破坏影响规律不明确。针对以上问题, 本文通过分析碾压厚度和遍数对施工质量的影响, 对施工关键技术进行优化, 提出适用于建筑垃圾再生粒料的施工工艺。

## 2. 建筑垃圾材料工程特性

以废旧混凝土和废旧砖块为研究对象, 选择以下 11 种建筑垃圾再生粒料配比方案, 分别进行级配特性和 CBR 试验分析, 确定最佳废旧混凝土和废旧砖块的掺配比例, 具体试验方案如表 1 所示。

Table 1. Test program

表 1. 试验方案

方案	混凝土: 砖	方案	混凝土: 砖
A-1	100:0	A-7	40:60
A-2	90:10	A-8	30:70

Continued

A-3	80:20	A-9	20:80
A-4	70:30	A-10	10:90
A-5	60:40	A-11	0:100
A-6	50:50	-	-

按照《公路土工试验规程》(JTG 3430-2020)中的颗粒分析试验方法,对 A-1~A-11 进行测试并计算得到各组不均匀系数和曲率系数,如图 1 所示。

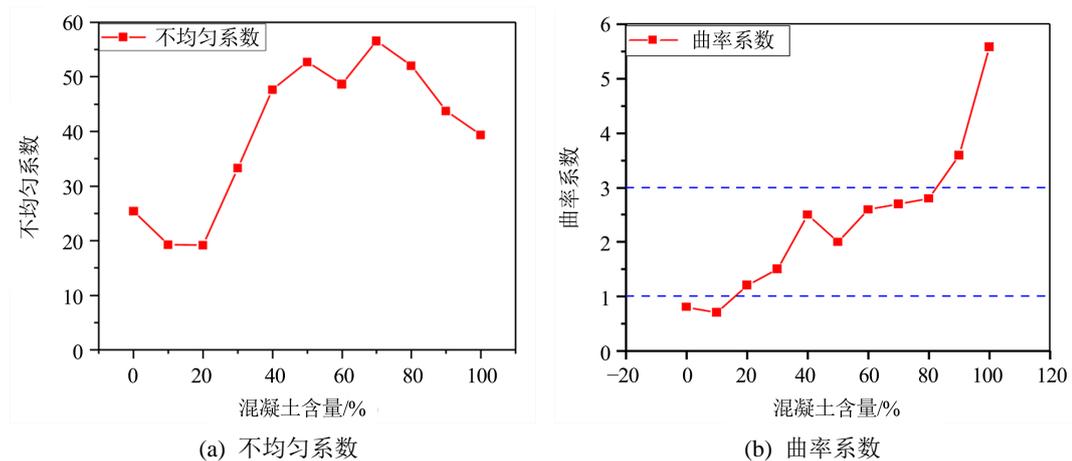


Figure 1. Relationship between concrete admixture and particle gradation

图 1. 混凝土掺量与颗粒级配的关系

从图 1 可以看出, 现当  $20\% \leq$  废旧混凝土含量  $\leq 80\%$  时, 不均匀系数  $C_u$  大于 30, 曲率系数  $1 < C_c < 3$ , 级配良好。同时废旧混凝土掺量与粒径 5 mm 以上含量之间有良好的线性相关性; 即随着废旧混凝土含量的增加, 再生粒料中粒径 5 mm 以上的含量也随之提高。

按照《公路土工试验规程》(JTG 3430-2020)中的承载比(CBR)试验方法,对 A-1~A-11 进行测试并计算得到各组 CBR 值, 如图 2 所示。

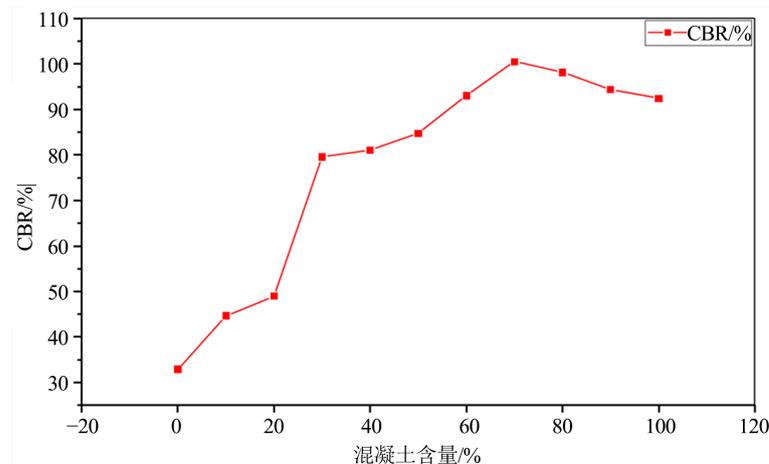


Figure 2. CBR variation pattern of recycled aggregate from construction waste

图 2. 建筑垃圾再生粒料 CBR 变化规律

从图 2 可以看出, CBR 值随着混凝土含量的增加先增大后下降。当废旧混凝土含量  $< 30\%$  的时候 CBR 值下降明显, 小于 50, 当废旧混凝土含量  $> 30\%$  之后 CBR 值增长值较快, CBR 超过 80, 当废旧混凝土含量达到 70% 左右的时候, CBR 值出现最大值, 并缓慢下降, 基本维持在 90 以上。

由以上试验数据可知, 当废旧混凝土和废旧砖块的比例为 70:30 时, 其工程性质处于最佳状态。为了方便现场施工, 优选废旧混凝土掺量为 60%~70% 的建筑垃圾。

### 3. 建筑垃圾施工工艺与优化

因建筑垃圾粒料性质不同于常用的路基填料, 因此在使用建筑垃圾作为路基填料施工过程中应选择合理的施工机械, 运用适宜的施工工艺和检测方法。建筑垃圾填筑路基的施工工艺流程, 如图 3 所示。

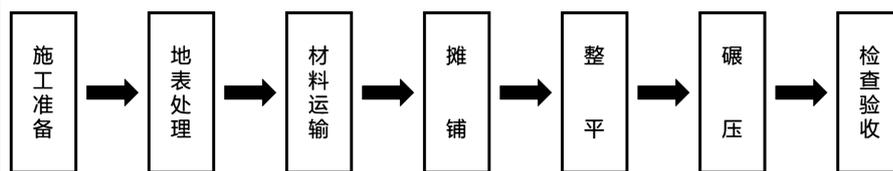


Figure 3. Construction process flow

图 3. 施工工艺流程

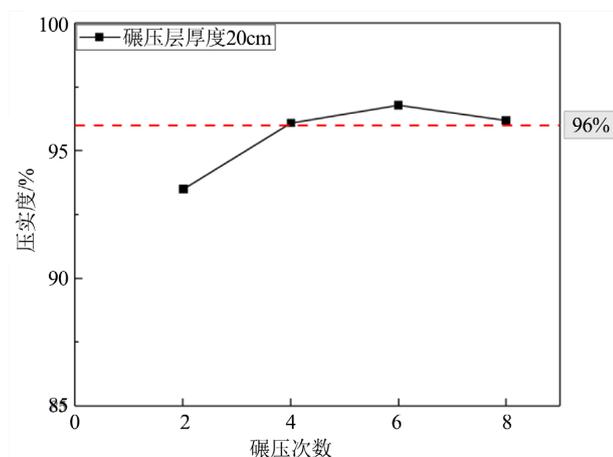
为了确定建筑垃圾填筑路基的最佳碾压层厚度和碾压次数, 如表 2, 在试验段选择三段各 100 m, 分别设定碾压层厚度为 20 cm、30 cm 和 40 cm。碾压次数为 1~8 遍, 每碾压两遍对其压实度和沉降差进行检测分析, 确定最优碾压遍数和碾压层厚度。

Table 2. Test segment program

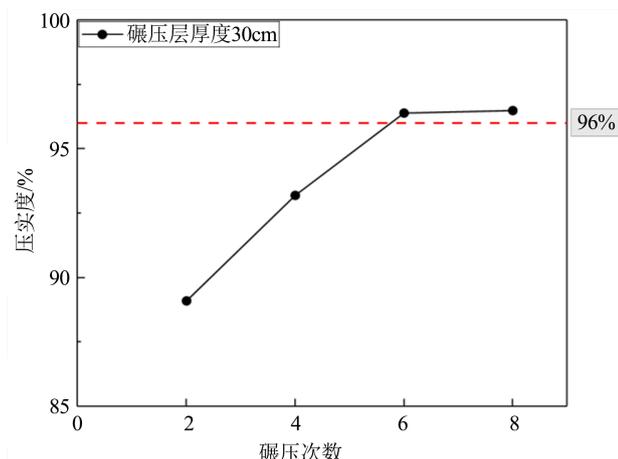
表 2. 试验段方案

试验段长度	碾压厚度	碾压遍数	检测项目	检测方案
100 m	20 cm			
100 m	30 cm	8 遍	压实度、沉降差	每碾压 2 遍
100 m	40 cm			

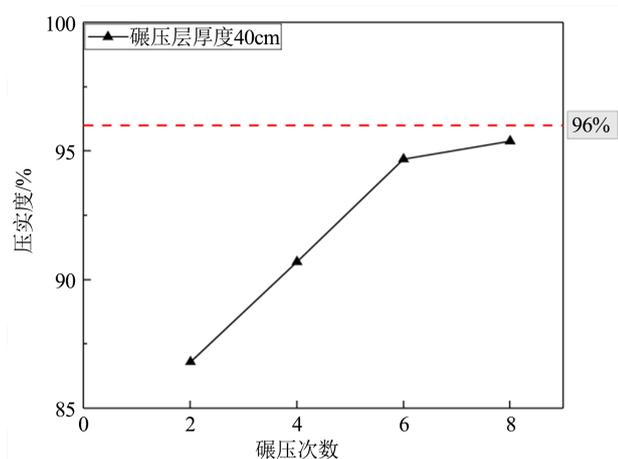
#### 3.1. 压实度结果分析



(a) 碾压层 20 cm



(b) 碾压层 30 cm



(c) 碾压层 40 cm

**Figure 4.** Variation rule of the compaction degree of construction waste with the number of crushing times

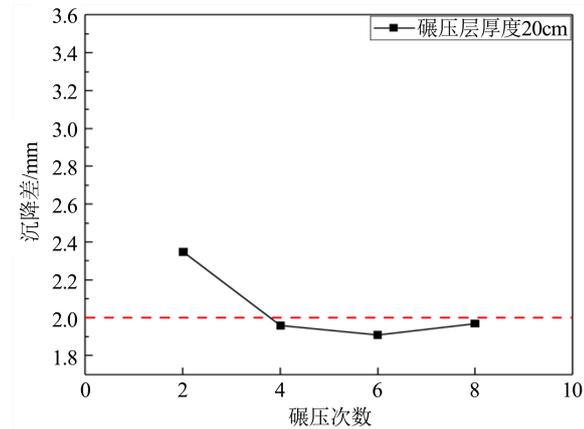
**图 4.** 建筑垃圾压实度随碾压次数的变化规律

从图 4 可以看出, 随着碾压次数的增加, 压实度呈逐渐增加并稳定的趋势。从图(a)中可以看出, 对于填厚 20 cm 的建筑垃圾路基, 振动碾压次数超过 4 次时, 压实度逐渐缓慢并趋于稳定, 压实度超过 96%, 并当振动碾压次数达到 6 次时达到最大值, 振动碾压次数达到 8 次时, 压实度呈下降趋势, 说明填厚 20 cm 在碾压已达到相对密实状态, 继续碾压对压实度提升作用有限。从图(b)中可以看出, 对于填厚 30 cm 的建筑垃圾路基, 振动压实次数超过 6 次时, 压实度逐渐缓慢并趋于稳定, 最终压实度超过 96%。从图(c)中可以看出, 对于 40 cm 的建筑垃圾路基, 振动压实次数超过 8 次时, 压实度逐渐缓慢并趋于稳定, 但是其最终压实度为 95.4%, 并未达到 96%, 无法满足路床填筑要求。基于此, 可以判断碾压层厚度应控制在 40 cm 以下。

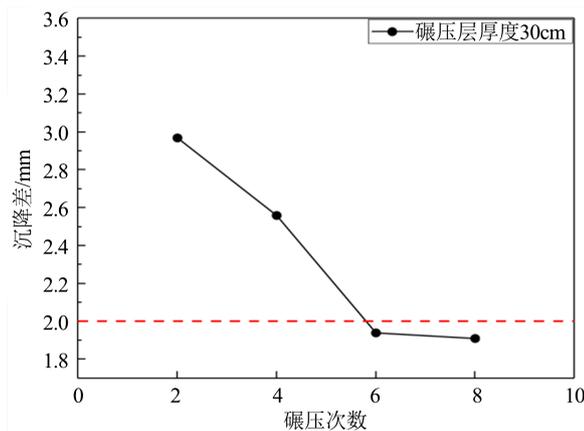
### 3.2. 沉降差结果分析

为了能够确定需要的碾压次数, 要对沉降量进行测量。在测定沉降值时, 采用观测法和轮迹法结合的方法。轮迹法指的是碾压的表面没有明显的轮迹, 沉降观测法是使用水准仪测量两次碾压间的沉降的差值, 一般小于 2 mm。

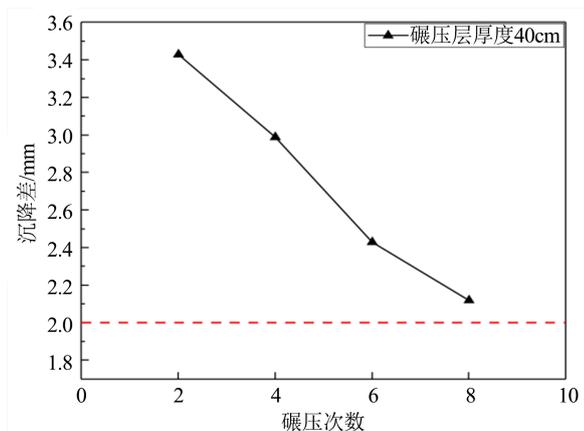
采用低振幅、高频率的振动压实方式，振动压路机为 26 吨，碾压作业时，按照从外到内，先快后慢的方法进行，碾压时的行进路线要在纵方向上保持平行，并进行多次碾压。在横方向上的接头处要有半米左右的重叠，在纵方向上要有 2 m 到 5 m 的重叠。



(a) 碾压层 20 cm



(b) 碾压层 30 cm



(c) 碾压层 40 cm

**Figure 5.** Variation law of settlement difference of construction waste

**图 5.** 建筑垃圾沉降差变化规律

从图 5 可以看出,随着碾压次数的增加,沉降差呈逐渐增加并稳定的趋势,且随着碾压层厚度的减小,沉降差逐渐减小。从图(a)中可以看出,对于碾压厚度为 20 cm 的建筑垃圾路基,振动压实次数达到 4 次时,沉降差小于 2 mm,并趋于稳定,振动压实次数达到 8 次时,沉降差出现增加的趋势,最终达到 1.97 mm,说明在碾压 4 次时已达到相对密实状态,满足填筑要求。从图(b)中可以看出对于 30 cm 的建筑垃圾路基,振动压实次数达到 6 次时,沉降差小于 2 mm,并趋于稳定状态,满足填筑要求。从图(c)中可以看出对于 40 cm 的建筑垃圾路基,振动压实次数超过 8 次时,沉降差逐渐降低,但是其最终沉降差仅为 2.12 mm,无法满足路床填筑要求。基于上述数据及经济施工的要求,可以判断碾压层厚度应控制在 40 cm 以下。

### 3.3. 颗粒级配变化结果分析

为了进一步对建筑垃圾再生粒料在振动压实试验过程中所产生的颗粒破碎进行量化分析,首先通过筛分试验统计了振动压实后各粒径含量的变化。施工完成后,对压实完成的建筑垃圾材料取样,并进行筛分试验,分析碾压前后不同厚度下建筑垃圾的级配变化。

碾压层厚度为 20 cm 时,碾压前粗粒( $d > 5$  mm)含量为 63.0%,碾压后粗粒( $d > 5$  mm)含量为 46.9%,粗粒破碎率为 25.6%。与施工前相比,粗粒径占比明显下降,细粒料占比增加。说明碾压 6 遍时,振动压路机已经对建筑垃圾骨料中的粗粒料造成了破坏,结合压实度和沉降差数据,可以得出碾压层厚度为 20 cm 时,碾压遍数不宜超过 4 遍。

碾压层厚度为 30 cm 时,碾压 6 遍和 8 遍时粗粒破碎率分别为 6.3%和 9.5%,说明在碾压 8 遍时,并没有对建筑垃圾骨料造成明显破坏,结合压实度和沉降差数据,碾压层厚度为 30 cm 时,碾压遍数 6 遍即可满足路床填筑要求,故最佳碾压遍数宜为 6 遍。

碾压层厚度为 40 cm 时,通过分析碾压前和碾压 8 遍后上部 10 cm 和底部 10 cm 的级配变化,发现底部 10 cm 的建筑垃圾骨料级配与碾压前的级配并没有明显变化,而上部 10 cm 的建筑垃圾骨料却造成明显破坏,导致粗粒减少,细粒增加,故可以判断但是不满足要求,故碾压层厚度不宜超过 40 cm。

综上可以判断,如表 3,当碾压厚度为 20 cm 时,可以得出最佳碾压层数为 4 遍;当碾压厚度为 30 cm 时,可以得出最佳碾压层数为 6 遍,而碾压层厚度为 40 cm 时,不宜进行路床施工。

**Table 3.** Optimization of compaction process

**表 3.** 压实工艺优化

碾压厚度	最优碾压遍数	碾压机具	碾压速度
20 cm	4 遍	26 t 振动压路机	不大于 20 km/h
30 cm	6 遍		

## 4. 结论

本文通过室内试验确定现场采用废旧混凝土和废旧砖块的最优掺比,通过压实度和沉降差检测分析,确定最优碾压遍数和碾压层厚度,对建筑垃圾再生填料路基施工工艺进行优化,得到以下结论:

- 1) 通过颗粒分析和 CBR 试验可知,当废旧混凝土和废旧砖块的比例为 70:30 时,其 CBR 值达到最大,工程性质达到最佳状态;
- 2) 现场压实施工当碾压层厚度为 20 cm 时,碾压次数超过 4 次后,级配变化明显,粗粒径占比明显下降,细粒料占比增加。厚度过小导致过度碾压,改变骨架结构,影响整体强度,碾压遍数不宜超过 4 遍;

3) 现场压实施工当碾压层厚度为 30 cm 时, 碾压遍数 6 遍即可满足路基填筑要求, 故最佳碾压遍数宜为 6 遍;

4) 现场压实施工当碾压层厚度为 40 cm 时, 振动碾压前后, 底部 10 cm 的建筑垃圾级配未发生明显变化, 而上部 10 cm 的建筑垃圾却造成明显破坏, 不宜进行路基施工。

### 参考文献

- [1] 樊兴华, 薛振华. 建筑垃圾再生骨料路用性能研究[J]. 公路, 2020, 65(10): 40-45.
- [2] 徐宝龙. 建筑垃圾土性能及其作为路基填料的施工[J]. 中国市政工程, 2011(2): 67-69.
- [3] 姚志雄. 建筑渣土工程特性及路用性能研究[J]. 路基工程, 2009, 147(6): 109-110.
- [4] 范炜, 陈峰. 再生骨料的基本物理力学性能试验研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2017, 15(2): 121-123.
- [5] 李滢, 代大虎. 建筑垃圾再生骨料基本特性研究[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2011, 29(3): 6-9.
- [6] 康晓燕. 建筑垃圾在路基回填中的应用[J]. 交通世界(建养.机械), 2010(5): 174-175.
- [7] 李行, 吴超凡, 万暑, 等. 建筑垃圾在路基回填材料中的使用性能研究[J]. 中外公路, 2019, 39(1): 253-256.
- [8] 李少康. 建筑垃圾在公路路基中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2014.
- [9] 陈冬梅. 建筑垃圾再生料的工程分类及其特性研究[J]. 山西建筑, 2017, 43(22): 194-196.
- [10] 张威, 李哲, 谢永利. 建筑垃圾用作路基填料的压实性能研究[J]. 路基工程, 2016(4): 82-85.