

# 再生材料在公路工程施工中的应用

文 / 孙建国 滕州市公路事业发展中心

**摘要:** 随着我国城市化和工业化建设的持续推进,使得我国群众的出行交通需求显著增加,公路工程施工规模进一步提升。绿色发展理念下,对各种再生材料的使用,不仅有利于提高施工绿色成效,也能一定程度减少施工成本,解决材料资源。基于此,本文从实际情况出发,首先阐述了公路工程施工中的再生材料与传统材料特点,进而分析了再生材料应用在公路工程施工中的重要性和可行性,最后针对性提出了公路工程施工中对再生材料的具体应用以供参考。

**关键词:** 再生材料; 公路工程施工; 应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.05.061

## 引言

公路工程施工中应用的工程材料是影响施工整体质量的关键因素,包括工程造价、施工质量和公路产品的后续使用。传统公路路面材料的开发、使用成本更高,在具体使用过程中也会产生大量污染物,对周边的环境影响较为深刻。对再生材料的使用,不仅能帮助公路工程施工节省材料造价和施工成本,也能显著提升建筑垃圾的处置效率,具有经济性、效率性和绿色建设的多重价值。

### 一、公路工程施工中的再生材料与传统材料

#### (一) 再生材料

目前公路工程施工中普遍使用的再生材料是废旧混凝土、沥青和粉煤灰,原则上讲再生材料中不得含有塑料、稻草、淤泥等其他杂质存在。随着公路工程建设规模和建设需求的增多,对各种废气建筑垃圾的处理,已成为工程绿色施工的关键所在。通过垃圾再生处理基础的使用,能够将一些工程废弃不用的废弃物进行再生转换,成为公路工程施工可使用的施工资源。例如,使用破碎机、筛分设备对废弃混凝土进行物理处理,破碎处理后的混凝土可作为路基填料使用,在保障路基稳定性和整体强度的基础上加强材料的多次使用;废旧沥青也是公路工程施工中常使用的一种再生材料,使用再生技术能够将其他工程的废弃沥青材料重新制作成沥青混合料,能够满足工程的沥青使用要求。同时,再生材料的应用成本低、再生处理效率高,对再生材料的合理使用能够有效提高工程的经济效益。但需要严格管控再生材料质量,利用严格的实验测试和现场测试,确保再生材料质量满足公路工程施工的质量要求。

#### (二) 传统材料

公路工程施工中最常见的材料是石类材料和砂石类材料。石类材料是公路路面铺设、回填料的常见材料,可以在铺路基面的过程中当作基层材料使用;砂石类材料则通常被当作掺合料使用,材料质量一般取决于成岩条件和造岩矿物。目前来看,公路工程中材料的质量和材料的使用水平与选取的岩石种类有一定关系。一般需要选择具有较强吸水性和刚性强度的岩石材料,在部分较为干旱或高寒地区,则需要更慎重地选择岩石材料。沥青材料也是公路工程施工中的常见材料,但是因为部分沥青材料使用对环境的影响较大,目前许多公路工程

施工都将环保型沥青作为施工的主要材料,从植物动物脂肪中提取生物沥青,在施工中的碳排放量更低、对环境的影响更小。

### 二、再生材料应用在公路工程施工中的重要性和可行性分析

#### (一) 再生材料应用在公路工程施工中的重要性

现阶段公路施工过于依赖传统施工材料,不仅会影响工程绿色发展,也会提高公路工程施工的造价,造成资源浪费问题。一方面,使用再生材料能显著加强公路工程施工的环保性。以生物基材料为例,施工人员可将各种麻、竹材料和椰子壳纤维作为沥青混合物的增强剂,在铺设路面时能够显著提高路面耐久性。将废弃轮胎橡胶或天然橡胶进行特殊处理后,能够研制出橡胶改性沥青,能够显著提升公路路面的稳定性。另一方面,使用再生材料能减少工程对环境的污染。比如在公路翻新中,需要清除大量的路面废料,对周边环境的影响较大。使用再生材料能显著减少废料对周边环境的影响,解决了传统材料大量使用产生的污染问题。

#### (二) 再生材料应用在公路工程施工中的可行性

随着建筑材料行业的不断发展,公路工程施工对再生材料的研究与挖掘力度更高,许多以前被视为废弃物的材料,渐渐成为公路工程施工应用的建筑材料。如粉煤灰、废弃混凝土、废弃沥青、炉渣等。上述废料的使用在可再生材料中占据了重要地位,越来越多的城市公路建设开始将工业建设时积存的大量工业材料和建筑垃圾作为再生材料应用在公路建设中。为了提高材料使用效率,降低材料使用对周遭环境的影响,就需要将这些工业废料、建筑垃圾中可再生使用的材料作为再生材料加强应用。目前许多筑路材料中存在大量重金属元素,在公路建设中的可利用性更强,实践证明许多再生材料在公路工程施工中具有使用价值。许多工业废料也具有持续利用价值,拥有其独特的优势。工业建筑建设期间许多固体工业废料的化学组成方式较为复杂,作为公路筑路材料较为合适。除此之外,建筑垃圾和废弃垃圾的不断增多,进一步提高了可再生技术的研究力度。通过对废弃垃圾的可持续使用能进一步挖掘废弃垃圾的使用价值,将其作为铺路材料节省公路工程建设的总体成本<sup>[1]</sup>。

### 三、公路工程施工中对再生材料的具体应用

#### (一) 项目概况

某新建高速公路全长112.36km，路基宽度27.1m。高速公路建设过程中现场周边有大量预建筑物拆迁产生了大量施工废弃物，包括废弃混凝土、砂石、沥青等。工程建设区域缺少石材资源，如果从其他区域运输材料不仅会额外增加运输成本，也会延误工期不利于施工高质量开展。结合工程实际情况，施工单位综合考虑后选

择使用再生材料作为施工材料，有效解决了材料运输不及时、建筑废弃物堆积的问题。施工期间计划全部采用5mm以下粒径的建筑垃圾细粒土进行路基填筑。

#### (二) 施工垃圾土废料的处理

该项目采用石灰搭配粉煤灰的方法合理配比掺合料，有效提高了项目区域土层的整体质量，压实度保持在95%以上。对材料样本进行有效收集后组织实验，项目使用的具体材料见表1。

表1 再生材料的性能参数

集料类型	含泥量	压碎指标	塑性指数	针片状含量	吸水率	杂物含量	硬质集料含量
再生细集料 (0 ~ 5mm)	24.3%	33.2%	14.9%	/	/	/	/
再生粗集料 (0 ~ 5mm)	4.1%	36.8%	/	1.9%	14.3%	0.4%	58.7%
再生粗集料 (10 ~ 32.5mm)	1.7%	34.3%	/	1.6%	12.2%	0.5%	50.1%

#### (三) 无侧限抗压强度试验

工程使用的路面材料质量，与路面基层抗压强度、路面基础材料厚度等方面具有直接联系。再生材料的含量较为复杂，对再生材料的处理方法和处理质量对路面基础有着重要的支撑作用。不同材料的黏附力和嵌挤、锁结作用对复合材料的抗压强度有着直接影响，但是随着各种再生材料的使用数量增加，不同废弃建筑材料掺和比例的变化，对路面强度也会产生直接影响。在这种抗压强度不断变化的基础上，需要利用无侧限抗压强度测试的方式，对不同类型和堆积时间的建筑垃圾再生骨料强度进行测试，具体测试内容见表2。

表2 不同水泥用量再生骨料的无侧限抗压强度测试结果

建筑垃圾集料种类	3%水泥掺量下的抗压强度 / MPa	5%水泥掺量下的抗压强度 / MPa	7%水泥掺量下的抗压强度 / MPa
集料 A	7.35	8.51	13.5
集料 B	4.63	5.23	5.71
集料 C	2.44	2.87	3.36

由表2可见，再生骨料抗压强度最高的是7%水泥掺量，但3%水泥掺量的再生骨料水泥用量更低，抗压强度也能满足本工程的设计要求。

#### (四) 再生材料路基施工工艺

本项目的路基施工选择机械搭配人工的方式开展，施工流程以机械施工为主，构建出机械化的施工流程。在正式施工前需要对再生材料进行实验应用，利用再生材料先铺筑200m以上的实验路段，确保路基填筑施工方法与质量能够满足设计要求。当本次施工工作结束后，需要从材料质量管理、路段检测管理和施工质量管理等方面加强检测，只有当上个环节的检测工作完成后才能组织下一环节工作。在检查中如果发现质量问题需要第一时间明确问题的产生原因，加强问题的溯源处理，解决完这一问题后才能正式组织下一道工序。路基施工过程中需要注意路基施工表面的清洁工作，加强路基处理，选择具有相关工程经验的技术人员，搭配使用多种施工设备组织完成技术<sup>[2]</sup>。路基施工过程中，应安排专门人员拾取建筑垃圾。安排工期的过程中应尽量避免在降雨降雪等天气，如果存在恶劣天气需要停止施工并采

取临时排水、防风、防寒措施。在解决恶劣天气带来的负面影响后充足组织施工。在正式施工前，需要准备数量充足、检测合格的再生材料，检测具体标准参照JTG E3430-2020《公路土工试验规程》T0153-1993。结合路基具体的土层情况和土层厚度确定压实度和压实标准，结合试验室确定的材料计算情况确定不同区域和不同环节的再生材料用量。

#### (五) 再生骨料混凝土应用技术

公路工程施工中使用的混凝土质量，是加强施工质量提升施工流畅性的关键举措。再生骨料替代天然骨料虽然能够帮助项目工程节省材料成本和材料运输成本，但也需要格外关注混凝土的质量和混凝土强度，加强再生骨料含量，可能会影响混凝土质量。在具体施工过程中，混凝土强度的变化与再生材料的使用温度、湿度、材料以及再生材料的加工工艺有着直接联系。结合过往案例经验和实际施工可确定如下要点：

1. 多数情况下再生材料加工工艺的类型较多，与传统施工材料相比再生混凝土的质量影响因素更多。在相同加工工艺基础上，再生材料混凝土力学强度要低于天然混凝土<sup>[3]</sup>。这种情况产生的原因在于再生骨料和水泥浆之间的结合程度不高，很容易受其他因素影响。

2. 多数情况如果加工工艺相同，再生混凝土的力学强度要低于天然混凝土。但是这一数值之间的差异会随着加工时间增长而降低，施工现场的再生骨料拌和测试结果见表3。

#### (六) 再生骨料的回填施工应用

1. 废弃物的回收利用。本项目采用250mm×250mm的滤网对建筑垃圾进行初步过滤。此次过滤的重点在于对建筑垃圾废弃物250mm以上的再生处理价值不高的部分进行筛除，同时对垃圾废弃物喷洒水雾减少可能出现的粉尘污染<sup>[4]</sup>。初次筛选完毕后，清除筛除后建筑垃圾中存在的塑料、淤泥、金属等其他杂物，清除工作完成后进行垃圾的粉碎处理。结合具体的建筑要求，粉碎后的粒径应在5mm以下。

2. 掺灰拌和。按照垃圾再生材料配合比验证结果确定掺灰拌和的具体比例和拌和方法。从工程具体情况出发，确定掺灰混合比例如下：3%石灰、3%粉煤灰，总掺和量达建材总量的2.87%。按现场检测浓度值和搅拌机

表 3 垃圾再生材料配合比验证

水胶比	水泥 (kg/m <sup>3</sup> )	砂 (kg/m <sup>3</sup> )	再生骨料 (kg/m <sup>3</sup> )	天然骨料 (kg/m <sup>3</sup> )	水 (kg/m <sup>3</sup> )	外加剂 (kg/m <sup>3</sup> )	强度 /MPa	
							7 天	28 天
0.55	344	851	207	831	185	2.773	26.1	35.1
0.61	312	864	222	846	185	2.535	22.2	29.5
0.67	290	877	213	862	185	2.359	19.3	25.9

预设的参数控制各种掺合料的送料速度和送料整体规格。确定掺合料总体数量和现场搅拌机设计送料速率将配置好的建筑垃圾填料按100m<sup>3</sup>每批次的规格依次检测。检测内容包括填缝材料的粒径、力学性能、抗渗能力和杂物掺和量。只有经过检验合格后的材料才能运输到施工现场进行填筑，本项目中使用的各种材料配合比见表4。

表 4 配合比参数

材料	掺量单位	确定掺量
粉煤灰	%	4
石灰	%	4
建筑垃圾	%	92

3. 铺面和碾压。在项目路基填筑工作开展期间组织了一系列填筑试验工作，实验路段总长500m。填土的虚铺厚度与填筑厚度比例为1.31。路基填筑选择天然骨料和再生骨料搭配使用的方式，按照路面实际长度、面积和填筑厚度确定具体的填筑方案。在路基中进行格子标注，按照格子标注的尺寸依次倒填，不仅能够控制路基填筑中对再生材料的合理使用，也能按照网格布局优化填充量，避免产生材料浪费问题。经过网格标注和材料划分后，在路基地面以下的2m处按照不同土层情况分别铺设再生材料，一般按照虚铺厚度360mm、填料粒径260mm的使用规格处理再生材料。对建筑垃圾进行初次粉碎后，将其按照预先设计的填筑方案铺设在路基中<sup>[5]</sup>。铺设工作完毕后组织碾压施工，碾压施工需要应用到光轮压路机进行振动处理，按照初压、复压和终压三个步骤依次进行：首先是路基初压。按照2km/h的转速振动碾压，同时搭配使用压路机进行1次振压。振压完毕后检测路面压实度，如果压实度没达到设计标准再振压一次。其次是复压。用光轮压路机继续振压一次，然后以相同速度继续振压一次。碾压过程中需要使用两台光轮压路机，按照从两侧到中间的方式渐次进行，压路机之间的重叠宽度为轮宽的1/3。最后是终压。用光



图 1 碾压作业

轮压路机按照2km/h的频率碾压一次、振动一次，另一台光轮压路机在碾压完毕后进行1次静压。为了确保碾压后的路基压实度能够满足要求，原则上选择封闭施工处理，在施工前7d覆盖养生。图1所示为碾压作业。

(七) 施工效果分析

项目使用了大量周边废弃的建筑垃圾作为再生材料，一方面解决了周围区域垃圾处置问题，另一方面也解决了工程的材料成本问题，搭配施工再生材料处理技术和再生材料检测技术，能够较直观的提升路基承载力和修复效果。与传统水泥路面相比，工程使用的再生材料不仅节约了材料成本和材料运输成本，且也为当地建筑垃圾处置提供了具体可行的解决方案，实现了绿色施工要求。本工程采用永久施工搭配临时工的方法，采用再生材料作为地基填筑材料<sup>[6]</sup>。这种施工方法与常规地基相比，风化风险较低、渗透性较强，不仅提高了施工的填筑效率，同时也对施工材料进行了有效补充，降低了施工现场的扬尘问题，具有经济性、效率性和绿色性的多重优势。

结束语

综上所述，可持续发展理念的出台与实施，使得我国公路建设施工在保障工程整体质量的基础上，也需要注重工程的节能环保属性要求，落实“绿色发展”理念。公路工程施工的高质量发展需要顺应可持续发展理念要求，建立资源再利用机制，注重对再生材料的使用，提高工程施工节能性和绿色环保性。本文从具体工程案例出发，分析了各种建筑垃圾在公路工程施工中经过再生处理后的具体使用，能够有效解决建筑垃圾处置问题和公路施工过程的材料补充问题，希望为公路工程的可持续发展奠定基础。

参考文献

[1]曾寅, 赵龙, 杜志芳, 等. 绿色建筑材料再生混凝土渗透力学行为系统性试验研究[J]. 广东水利水电, 2024, (09): 68-74.

[2]姚明, 蔡东波, 韩洪宇, 等. 改性胶粉与水泥复合稳定建筑垃圾半刚性基层材料路用性能研究[J]. 公路, 2024, 69 (08): 87-93.

[3]杜云峰. 绿色建筑材料的最新应用和城市循环经济潜力——以地聚合物混凝土为例[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (06): 113-115.

[4]王建刚, 王鸣岐, 李显秀, 等. 基于不同类型建筑垃圾再生料的可控性低强材料配制研究及应用[J]. 市政技术, 2024, 42 (05): 17-24.

[5]杨涛, 肖源杰, 陈宇亮, 等. 透水型建筑固废再生水稳材料疲劳性能试验及预测模型[J]. 铁道科学与工程学报, 2024, 21 (07): 2766-2777.

[6]杨盼盼, 郭杨成. 绿色发展视域下建筑垃圾再生材料在道路工程中的应用研究[J]. 建筑结构, 2023, 53 (18): 161.