

# 再生材料在路桥工程基层与底基层中的应用及性能研究

李卫

商河县交通运输局市政工程服务中心, 山东 济南 250000

**摘要:** 本文聚焦再生材料在路桥基层与底基层的应用。研究表明, 再生材料来源广泛, 用于路桥建设可减少废弃物污染、缓解资源压力并降低成本, 优势显著。应用技术方面, 结构设计、配合比设计与施工工艺已具一定基础, 但仍需优化。性能上, 力学、路用与耐久性能总体能满足要求, 不过在恶劣环境下稳定性和寿命有挑战。未来需加强基础研究, 开发新工艺与添加剂, 完善质量控制体系, 积累实践经验, 推动再生材料在路桥领域更广泛、可持续应用。

**关键词:** 再生材料; 路桥基层与底基层; 应用技术; 性能研究; 可持续发展

DOI: 10.63887/fet.2025.1.4.13

## 引言

在当今社会, 基础设施建设尤其是路桥工程的持续推进对于经济发展和进步起着至关重要的作用。然而, 传统路桥工程基层与底基层建设对天然集料等原材料的大量消耗, 使得资源短缺问题日益凸显。天然集料的开采不仅会导致资源的逐渐枯竭, 还会对生态环境造成严重的破坏, 如引发山体滑坡、水土流失等地质灾害, 影响生物多样性。

与此同时, 随着城市化进程的加快和基础设施的更新换代, 道路工程废料、建筑拆除垃圾以及工业废渣等废弃物的产量与日俱增。这些废弃物的随意堆放不仅占用了大量土地资源, 还会对土壤、水源和空气造成污染, 带来一系列严重的环境问题。

在此背景下, 将再生材料应用于路桥工程基层与底基层建设具有重要的现实意义。一方面, 能够实现废弃物的资源化利用, 有效缓解资源短缺的压力, 减少对天然集料的过度依赖, 促进资源的可持续发展。另一方面, 减少废弃物的排放和堆积, 降低对环境的负面影响, 符合绿色发展和生态文明建设的要求。此外, 从经济角度来看, 再生材料的使用还能降低路桥工程的建设成本, 提高经济效益。因此, 深入研究再生材料在路桥工程基层与底基层中的应用及性能, 对于推动路桥工程的可持续发展具有深远的意义。

## 1 再生材料的种类与特性

### 1.1 常见再生材料的来源与分类

在路桥工程基层与底基层建设中应用的再生材料来源广泛且具有多样性。道路工程废料是常见的再生材料来源之一, 随着城市道路的升级改造以及旧路的翻修, 会产生大量的废弃路面材料, 如水泥混凝土路面破碎块、沥青混凝土路面铣刨料等。建筑拆除垃圾也是重要的来源, 城市建设进程中大量旧建筑的拆除会产生包括砖块、混凝土块、砂石等在内的废弃物<sup>[1]</sup>。工业废渣同样不容忽视, 例如钢铁厂产生的钢渣、火力发电厂产生的粉煤灰等。

根据这些再生材料的形态和性质, 可以对其进行分类。常见的有再生集料, 它通常是由废弃的混凝土、砖块等经过破碎、筛分等处理后得到的具有一定粒径级配的颗粒材料, 可替代部分天然集料用于基层与底基层。再生粉末则一般是在加工过程中产生的细小颗粒, 如磨细的粉煤灰、矿渣微粉等, 其具有一定的活性, 能在基层与底基层材料中发挥特殊的作用<sup>[2]</sup>。

### 1.2 再生材料的物理与化学特性

再生材料的物理特性对其在路桥基层与底基层中的应用有着重要影响。从颗粒形状来看, 再生集料的颗粒形状往往不规则, 与天然集料相比, 棱角较多, 这会影响材料的堆积密度和颗粒间的嵌挤作用。级配方面, 再生材料的级配通常不够理想, 可能存在颗粒分布不均匀的情况, 需要通过一定的措施进行调整以

满足工程要求。密度上,再生材料的密度可能因来源和成分的不同而有所差异,一般来说,部分再生集料的密度会低于天然集料<sup>[3]</sup>。吸水率也是一个关键物理特性,由于再生材料内部存在较多的孔隙和微裂缝,其吸水率通常较高,这会影响到材料的强度和耐久性。

在化学特性方面,再生材料的化学成分和矿物组成各不相同。例如,钢渣中含有大量的氧化钙、氧化镁等成分,具有一定的潜在水硬性;粉煤灰中则富含硅、铝等氧化物,在碱性环境下能发生火山灰反应。这些化学成分和矿物组成决定了再生材料的化学活性和性能特点<sup>[4]</sup>。不同的化学成分和矿物组成会影响再生材料与其他材料的反应过程和产物,进而对基层与底基层材料的强度形成、耐久性等性能产生作用。

### 1.3 再生材料的预处理工艺

为了提高再生材料的性能和质量,使其更好地应用于路桥基层与底基层,需要对再生材料进行预处理。常见的预处理方法包括破碎、筛分和清洗。破碎是将大块的再生材料处理成合适粒径的颗粒,通过破碎设备将废弃混凝土块、砖块等破碎成所需大小的集料。筛分则是按照颗粒大小对破碎后的再生材料进行分级,去除不符合级配要求的颗粒,使再生材料的级配更加合理。清洗工艺主要是去除再生材料表面的杂质、灰尘和附着的旧砂浆等,提高材料的洁净度。

预处理工艺对再生材料性能的改善效果显著。破碎可以改善再生材料的颗粒形状和粒径分布,使其更符合基层与底基层材料的要求。筛分能够优化级配,提高材料的密实度和强度。清洗则能减少杂质对材料性能的不利影响,降低吸水率,增强再生材料与其他胶凝材料的粘结性能,从而提高基层与底基层材料的整体性能和耐久性<sup>[5]</sup>。

## 2 再生材料在路桥基层与底基层中的应用技术

### 2.1 再生材料基层与底基层的结构设计

在路桥结构体系中,再生材料基层与底基层扮演着至关重要的角色。基层直接承受由面层传来的车辆荷载垂直力,并将其扩散到底基层和土基中,起到传递和分散荷载的作用;底基层则进一步扩散基层传来

的应力,保护土基免受过大的应力作用,确保路桥结构的整体稳定性。其设计要求主要体现在强度、刚度、稳定性和耐久性等方面,必须能够适应不同的交通荷载和环境条件,保证路桥在设计使用年限内正常运行。

不同类型的再生材料基层与底基层具有各自独特的结构形式和适用范围。例如,水泥稳定再生集料基层是将水泥与再生集料按一定比例混合,经压实形成具有较高强度和稳定性的结构层,适用于交通荷载较大的城市主干道和高速公路;二灰稳定再生材料基层是利用石灰和粉煤灰与再生材料结合,其早期强度相对较低,但后期强度增长明显,适用于一般道路的基层或底基层;级配碎石再生基层则是通过合理级配的再生集料形成嵌挤结构,具有良好的透水性和抗变形能力,常用于轻交通道路或对排水要求较高的路段。

### 2.2 再生材料基层与底基层的配合比设计

再生材料基层与底基层的配合比设计是一个复杂且关键的过程,受到多种因素的影响。再生材料的种类不同,其物理化学性质差异较大,如再生集料的颗粒形状、级配、吸水率,以及再生粉末的活性等,都会对配合比产生影响。材料的性质也十分重要,强度、稳定性等性能指标决定了其在基层与底基层中的使用比例。此外,工程要求是确定配合比的重要依据,不同的道路等级、交通流量和环境条件对基层与底基层的性能要求各异,如重载交通道路需要更高强度的基层材料,而寒冷地区则更注重材料的抗冻性能。

配合比设计通常遵循一定的方法和步骤。首先是确定目标性能,根据工程的具体要求,明确基层与底基层所需达到的强度、刚度、耐久性等指标。然后进行原材料选择,综合考虑再生材料的来源、质量和成本等因素,挑选合适的再生材料和其他辅助材料,如水泥、石灰等。接着进行配合比的初步设计,通过理论计算和经验公式确定各种材料的大致比例。之后进行试验验证,制作不同配合比的试件,进行强度、耐久性等性能测试。最后根据试验结果对配合比进行优化调整,直到满足工程要求为止。

### 2.3 再生材料基层与底基层的施工工艺

再生材料基层与底基层的施工是一个系统的过

程，涵盖多个关键环节。施工准备工作是基础，包括对施工现场的清理和平整，确保土基的压实度和承载能力符合要求；对原材料进行检验和储存，保证材料质量稳定；调试施工设备，确保其性能良好。拌和环节要求严格控制各种材料的用量和搅拌时间，使再生材料与其他添加剂充分混合均匀，以保证基层与底基层材料的性能一致性。运输过程中要注意防止材料的离析和水分蒸发，可采用覆盖等措施加以保护。摊铺作业需保证材料的摊铺厚度均匀，平整度符合要求，可根据工程情况选择合适的摊铺设备和摊铺速度。碾压是关键工序，通过合理的碾压工艺和设备组合，使基层与底基层达到规定的压实度，增强材料的密实性和强度。

在施工过程中，有许多关键技术要点和质量控制措施需要严格把握。例如，在拌和时要根据天气情况和材料的含水量及时调整加水量，确保材料的最佳含水量。摊铺过程中要注意控制摊铺的连续性和均匀性，避免出现离析和裂缝。碾压时要遵循先轻后重、先慢后快的原则，合理安排碾压遍数和碾压速度，防止出现过压或欠压现象。同时，要加强施工过程中的质量检测，定期对原材料、混合料和已完成的基层与底基层进行性能测试，及时发现问题并采取相应的整改措施，确保工程质量符合设计要求。

### 3 再生材料基层与底基层的性能研究

#### 3.1 力学性能研究

室内试验是研究再生材料基层与底基层力学性能的重要手段。通过一系列试验可以全面了解其抗压强度、抗折强度、劈裂强度等关键力学指标。抗压强度是衡量基层与底基层承受垂直荷载能力的重要参数，对于保障路桥结构的稳定性至关重要。抗折强度则反映了材料抵抗弯曲破坏的能力，在路面承受车辆荷载产生的弯拉应力时起着关键作用。劈裂强度体现了材料的抗拉性能，有助于评估基层与底基层在横向应力作用下的抗裂能力。

不同因素对再生材料基层与底基层力学性能有着显著的影响。再生材料的种类不同，其自身的物理化学性质差异会导致力学性能表现各异。例如，钢渣再生集料可能具有较高的强度，但吸水性较大，这可能

会在一定程度上影响其与其他材料的粘结性能和整体强度。配合比也是影响力学性能的关键因素，合理的配合比能够使各种材料之间发挥协同作用，提高基层与底基层的强度和稳定性。如水泥剂量的增加通常会提高材料的早期强度，但过量使用可能会导致收缩裂缝的产生。养护条件同样不容忽视，适宜的温度和湿度条件有利于材料强度的正常发展。在高温干燥环境下，材料可能因水分蒸发过快而影响强度增长；而在低温环境中，强度增长速度会明显减慢。

#### 3.2 路用性能研究

为了确保再生材料基层与底基层在实际道路工程中的适用性，需要采用多种试验方法对其路用性能进行研究。水稳定性是路用性能的重要指标之一，它反映了材料在饱水状态下抵抗强度降低和破坏的能力。由于道路基层与底基层在使用过程中不可避免地会受到雨水、地下水等的侵蚀，良好的水稳定性能够保证材料在长期水环境下仍能保持较高的强度和稳定性。抗冻性也是关键性能，在寒冷地区，基层与底基层材料需要经受冻融循环的考验，抗冻性差的材料会在冻融作用下出现结构破坏、强度降低等问题。抗冲刷性则关乎材料抵抗水流冲刷的能力，尤其是在山区道路或排水不良的路段，基层与底基层需要具备足够的抗冲刷性能以防止材料流失和结构损坏。

再生材料基层与底基层在不同环境条件下的性能变化规律复杂多样。在潮湿环境中，材料的水稳定性会面临严峻考验，水分的侵入可能会导致材料内部结构的破坏和强度的下降。在寒冷地区，冻融循环会使材料的孔隙和微裂缝不断扩展，从而降低其抗冻性和整体性能。而在高温环境下，材料可能会出现热膨胀、收缩等现象，影响其稳定性和耐久性。通过对这些性能变化规律的研究，可以更好地了解再生材料基层与底基层在不同环境下的使用特点，为工程设计和施工提供科学依据。

#### 3.3 耐久性研究

耐久性是衡量再生材料基层与底基层长期使用性能的重要指标，通过模拟试验和长期观测可以深入研究其疲劳性能、收缩性能等耐久性指标。疲劳性能反

映了材料在反复荷载作用下抵抗破坏的能力，道路基层与底基层在车辆荷载的长期作用下会承受反复的应力循环，疲劳破坏是导致路面病害的重要原因之一。收缩性能则与材料在干燥或降温过程中的体积变化有关，过大的收缩可能会导致基层与底基层出现裂缝，进而影响路面的平整度和使用寿命。

影响再生材料基层与底基层耐久性的因素众多。材料的组成和配合比是基础因素，不同的再生材料和添加剂会对耐久性产生不同的影响。例如，适当添加纤维材料可以提高材料的抗裂性能和疲劳寿命。环境因素也是重要影响因素，如温度、湿度、紫外线等会加速材料的老化和破坏过程。此外，施工质量也直接关系到耐久性，如压实度不足、养护不到位等都会降低材料的耐久性。

为了改善再生材料基层与底基层的耐久性，可以采取一系列针对性的措施。在材料方面，可以优化配合比设计，选择耐久性好的再生材料和添加剂，提高材料的抗老化和抗疲劳性能。在施工过程中，要严格控制施工质量，确保压实度符合要求，加强养护管理，为材料的性能发展创造良好条件。同时，还可以采取一些防护措施，如设置防水层、采用表面处理技术等，减少环境因素对基层与底基层的不利影响。

## 4 结论

随着可持续发展理念深入人心，再生材料在路桥

基层与底基层应用的研究愈发重要。综合前文研究，可得如下结论：

1. 优势显著，潜力巨大：再生材料来源广泛，包括道路废料、建筑拆除垃圾和工业废渣等，分类后的再生集料和粉末能有效解决废弃物处理难题，减少环境污染，缓解天然集料短缺压力，同时降低路桥建设成本，具有良好的经济与社会效益，应用潜力巨大。

2. 技术可行，有待优化：应用技术已取得一定进展。结构设计明确了再生材料基层与底基层在路桥结构中的作用及适用范围；配合比设计有系统方法，但受材料种类、性质和工程要求等因素影响，需精确定义；施工工艺涵盖多环节，有明确的技术要点和质量控制措施，但仍需进一步优化以提高质量和效率。

3. 性能尚可，挑战犹存：研究表明，再生材料基层与底基层力学性能受材料种类、配合比和养护条件影响；路用性能在不同环境下表现各异；耐久性方面存在疲劳和收缩等问题。虽总体能满足工程要求，但在恶劣环境下的性能稳定性和使用寿命仍面临挑战。

4. 未来展望，持续探索：尽管已取得一定成果，但再生材料应用仍需深入研究。应加强基础研究，明确作用机理，开发高效预处理工艺和添加剂。建立完善质量控制标准和评价体系，保障工程质量。同时，积累实践案例，为大规模推广提供技术和经验支撑。总之，再生材料应用前景广阔，需不断探索创新以实现可持续发展。

## 参考文献

- [1] 杨法勇, 马庆伟, 张帆, 等. 公路工程应用建筑垃圾碳减排效果研究[J/OL]. 公路, 2025, (06): 391-398.
- [2] 黄侠. 建筑垃圾再生材料在普通省道路基中的应用研究[J]. 石材, 2025, (06): 156-158.
- [3] 刘静静, 刘鹏飞, 蔡婷婷. 再生材料在道路工程中的应用研究[J]. 再生资源与循环经济, 2025, 18(05): 24-26.
- [4] 马东凯, 王鹏. 路桥建设中底基层的施工分析[J]. 江西建材, 2017, (03): 148+151.
- [5] 张峰. 对路桥建设中底基层施工的探究[J]. 中国建材科技, 2015, 24(02): 258-259.