

团 体 标 准

T/CCTAS XXXX—XXXX

公路改扩建工程建筑垃圾利用技术规程

Technical specification for solid waste utilization in highway
reconstruction and expansion projects

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2024.11）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国交通运输协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 基本规定 5

5 拆除与加工处理 5

6 再生材料技术要求及应用范围 8

7 资源化利用 10

附录 A 14

参考文献 15

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

公路改扩建工程建筑垃圾利用技术规程

1 范围

本文件规定了公路改扩建工程结构物的拆除与加工处理、再生材料技术要求以及资源化利用等内容。本文件适用于各等级公路改扩建工程，没有涉及沥青混合料废料再生利用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 176 水泥化学分析方法
- GB/T 1345 水泥细度检验方法 筛析法
- GB/T 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 8239 普通混凝土小型砌块
- GB/T 30190 石灰石粉混凝土
- JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程
- JG/T 573 混凝土和砂浆用再生微粉
- JTG D30 公路路基设计规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
- JTG/T 2321 公路工程利用建筑垃圾技术规范
- JTG/T 3610 公路路基施工技术规范
- JTG 3450 公路路基路面现场测试规程
- JTG 3441 公路工程无机结合料稳定材料试验规程
- T/CECS G:M61-01 公路混凝土桥梁拆除技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

建筑垃圾 construction waste

拆除等工程建设活动中产生的水泥混凝土、砂、石等固体废弃物。本文件不包括拆除建筑和道路等工程中的渣土、沥青混合料及钢结构等。

[来源：JTG/T 2321—2021，2.0.1，有修改]

3.2

建筑垃圾再生材料 construction waste recycled materials

建筑垃圾经分选、加工生产后形成的再生材料。

[来源：JTG/T 2321—2021，2.0.2]

3.3

建筑垃圾再生粗骨料 construction waste recycled coarse aggregate

粒径大于或等于4.75mm的建筑垃圾再生骨料。

[来源：JTG/T 2321—2021，2.0.4，有修改]

3.4

建筑垃圾再生细骨料 construction waste recycled fine aggregate

粒径小于4.75mm的建筑垃圾再生骨料。

[来源：JTG/T 2321—2021，2.0.5，有修改]

3.5

建筑垃圾再生微粉 construction waste recycled fine powder

建筑垃圾再生材料中粒径小于0.075mm的颗粒。

3.6

建筑垃圾再生骨料水泥混凝土 recycled aggregate concrete

掺配一定比例建筑垃圾再生材料形成的水泥混凝土。

[来源：JTG/T 2321—2021，2.0.14，有修改]

3.7

人工拆除 manual demolition

依靠人力，借助铁锤、风镐、手持切割器具等简单工具对拟拆除物进行解体、破碎的拆除方式。

[来源：T/CECS G:M61-01—2019，2.1.2，有修改]

3.8

机械拆除 mechanical demolition

使用大型机械对拟拆除物进行解体、破碎的拆除方式。

[来源：T/CECS G:M61-01—2019，2.1.3，有修改]

3.9

爆破拆除 blasting demolition

使用爆炸能量对拟拆除物进行解体、破碎的拆除方式。

[来源：T/CECS G:M61-01—2019，2.1.4，有修改]

3.10

固定式加工 fixed processing

指在固定的场地上搭建生产线，加工处理建筑垃圾的方式。

3.11

移动式加工 mobile processing

指能够根据工程需求进行快速组合和拆卸，可以灵活移动的加工处理建筑垃圾的方式。

4 基本规定

4.1 公路改扩建工程建筑垃圾资源化利用宜遵循“因地制宜、统筹规划、科学利用、生态环保”的基本原则，与改扩建工程建设充分结合，提升资源利用与工程建设的协调性。

4.2 对公路改扩建拟拆除结构物，在调查、评价的基础上，结合改扩建工程建设需求及工程进度，宜对建筑垃圾资源统筹协调、应用尽用。公路改扩建工程在设计阶段，需对拟拆除桥梁、挡土墙结构、混凝土护栏、防护和排水设施等工程以及沿线拆除的其他建筑垃圾规模进行实地调查和统计，并做好利用规划。

4.3 在加工处理前，应排除含有害物质、污染严重或腐蚀严重的建筑垃圾。

4.4 建筑垃圾在拆除、收集、运输、加工和再生利用过程中，粉尘、废气、固体废弃物、噪声、废水、有害金属等对空气、水资源和土地的污染排放物应符合国家相关排放标准的规定。

注：建筑垃圾再生材料生产加工和应用过程中对环境的影响主要是大气污染、固体废弃物、噪声和废水排放污染等方面。大气污染主要是由于粉尘排放及燃油设备产生的废气对大气的污染，防治要求见《中华人民共和国大气污染防治法》；扬尘控制要求的信息见 HJ/T 393；生产加工和应用过程中产生的固体废弃物（包括杂物）处理要求见《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》；噪声污染主要是生产加工过程中机械设备运行产生的噪声，防治要求的信息见 GB 12348；废水污染主要是生产加工和应用过程中水处理工艺、雨水渗流等产生的废水，处置要求信息见 GB 8978；另外，当地及特殊区域有特殊要求时，还要符合当地相关法规。

5 拆除与加工处理

5.1 一般规定

5.1.1 公路改扩建工程在设计阶段宜对拟拆除结构物进行统计分析，编制以利用为目的的拆除、收集、运输、加工方案。

5.1.2 拆除方案宜综合考虑结构安全、施工安全、环境保护等因素，优先选用低碳化、信息化、智能化拆除技术。技术复杂或影响重要的结构物，例如桥梁、重要支挡结构等，需编制施工组织设计及专项拆除施工方案，保障拆除过程中的施工安全，避免引发工程灾害。

5.1.3 拆除结构物宜优先就地利用，当异地利用时，需考虑利用需求、交通运输能力、运距等因素。

5.1.4 建筑垃圾再生材料生产加工宜建立全过程管理制度，推进综合利用。

5.2 拆除

5.2.1 结构物拆除宜综合考虑公路改扩建工程施工时序、结构物技术状况及再利用价值等，通过比选，确定合理的拆除方案。

5.2.2 重要结构物拆除时，应考虑拆除对道路的影响，保证行车安全。

5.2.3 桥梁拆除可采用人工拆除、机械拆除、爆破拆除，或两种及两种以上方式的组合。拆除方案设计应按 T/CECS G:M61-01 执行。

注：拆除工程量小、不利于机械拆除的桥梁结构可采用人工拆除方式。拆除工程量大的桥梁结构宜采用直接破碎、部件移除、分段切割移除和整体移除等机械拆除方式。

- 5.2.4 采用爆破拆除时，应编制爆破专项施工方案，经过安全和技术论证后方可实施。
- 5.2.5 小跨径桥梁上部结构可整体吊装运输至其他低等级工程中直接使用，T梁、小箱梁、空心板等可分段分块切割拆除应用于支挡及排水工程中。
- 5.2.6 路基支挡、防护及排水工程拆除，应符合以下规定：
- a) 拆除时应保障现有坡体稳定，避免造成地质灾害。
 - b) 预制的防护、排水结构宜拆解砌块，现浇的防护、排水结构宜分段分块切割拆除，并集中码放。
 - c) 轻型挡土墙结构，可沿纵向分段分块切割拆除，重力式挡土墙宜采用破碎拆除。
- 5.2.7 混凝土护栏拆除，应符合以下规定：
- a) 拆除时应采取必要的防坠落措施。
 - b) 拆除时应做好交通组织设计。
 - c) 宜采用分段切割拆除法，分段间距宜为4~5m，并集中码放。
- 5.2.8 路缘石、挡水肋条等小型构件拆除，应符合以下规定：
- a) 拆除时应采取必要的防坠落措施。
 - b) 宜采用人工拆除或者机械拆除，拆除后形成的构件应集中码放。
- 5.2.9 服务区等基础设施拆除应从上至下逐层拆除，主体结构拆除宜先拆除非承重结构及附属设施，再拆除承重结构。

5.3 收集运输与转运调配

- 5.3.1 拆除结构物及建筑垃圾应分类收集和运输，严禁混装。
- 5.3.2 建筑垃圾在分类收集全过程中不得混入生活垃圾、污泥、河道疏浚底泥、工业垃圾和危险废物等。
- 5.3.3 拆除结构物及建筑垃圾的运输宜采用封闭运输设备。
- 5.3.4 建筑垃圾堆放区应符合以下规定：
- a) 应根据加工方式及规模合理规划，且应设置在用地红线范围内。
 - b) 宜按结构类型分类堆放，并设置明显的分类堆放标志。
 - c) 堆放高度不宜超过5m，且应满足稳定性要求，当堆放场地附近有挖方工程或临空面时，还应进行临空面稳定性验算。
 - d) 建筑垃圾堆放区地面应高于周围地坪，堆放区四周应设置排水系统，满足场地雨水导排要求。

5.4 加工处理

- 5.4.1 拆除结构物加工处理应根据工程建设需求、建筑垃圾规模、项目用地、工程造价、再生材料品质等因素综合考虑，选择合适的加工方式。

注：拆除物规模大，对再生材料品质要求高时，宜采用固定式加工厂加工。固定式加工厂厂址选择，应结合工程建设情况、用地需求、工程全线建筑垃圾的空间分布等因素统筹考虑。

- 5.4.2 建筑垃圾再生材料加工工艺及工序配置应根据建筑垃圾特性及再生材料用途综合确定。加工工艺包括预处理、震动给料、破碎、分选、震动筛分等工序。

5.4.3 预处理包括粗破、除土、筛除较大尺寸的金属、木板、杂物等，经预处理的建筑垃圾应分类堆放。

5.4.4 给料工序应符合以下规定：

- a) 给料系统可包括受料斗、给料机、辅助设施等。
- b) 受料斗的进口宽度与容积应满足给料设备的卸料要求，充分考虑粒径、杂物等因素，防止堵料。
- c) 给料设备应具备预筛分功能。

5.4.5 破碎工序应根据建筑垃圾类型及再生材料用途确定，应符合以下规定：

- a) 宜根据建筑垃圾原料特性与使用要求，合理制定破碎与筛分工艺组合。
- b) 一级破碎设备可采用颚式破碎机或反击式破碎机，二级破碎设备可采用反击式破碎机或锤式破碎机。

5.4.6 分选工序应符合以下规定：

- a) 宜包括除土、分选废金属、分选轻质杂物、粉体回收等环节。
- b) 根据建筑垃圾组成，采用人工分选、磁选、风选、光电分选等干法工艺及水选等湿法工艺，宜优先采用干法工艺。
- c) 人工分选主要分离钢筋、塑料网、木板等杂物，磁选主要分选铁质物质，水选主要分离塑料、玻璃等轻物质，光电分选主要分离有色金属等物质。
- d) 砖、混凝土可利用密度的差异进行分离。
- e) 分选出的杂物宜集中收集、分类存放、及时处置。

5.4.7 筛分工序宜根据建筑垃圾再生材料级配要求确定，根据不同粒径骨料比例确定筛分设备。

5.4.8 建筑垃圾加工场地面积应满足加工能力及再生材料堆放要求。

5.4.9 建筑垃圾加工设备选型应结合加工工艺确定，固定式和移动式破碎设备、磁选设备、筛分设备、风选设备、水选设备、砖混凝土分离设备应与处理能力相匹配，加工设备最低参数宜满足表1要求。

表1 加工设备最低参数要求

加工设备	参数要求 ^a						
	最大进料粒度 (mm)	处理能力 (t/h)	适应带宽 (mm)	磁场强度 (mT)	筛网面积 (m ²)	振动频率 (Hz)	功率 (kW)
固定式鄂式破碎机	750	>200	—	—	—	—	—
移动式鄂式破碎机	500	>100	—	—	—	—	—
固定式反击式破碎机	500	>200	—	—	—	—	—
移动式反击式破碎机	500	>100	—	—	—	—	—
固定式锤式破碎机	500	>200					
移动式锤式破碎机	500	>100					
固定式磁选设备	—	—	>1000	>70	—	—	—
移动式磁选设备	—	—	>800	>70	—	—	—
固定式筛分设备 ^b	—	>200	—	—	>10	>16	
移动式筛分设备 ^b	—	>100	—	—	>10	>13	
固定式风选设备	—	>50	—	—	—	—	>10
移动式风选设备	—	>50	—	—	—	—	>10
固定式水洗设备	—	>50	—	—	—	—	>10

表 1 加工设备最低参数要求（续）

加工设备	参数要求 ^a						
	最大进料粒度 (mm)	处理能力 (t/h)	适应带宽 (mm)	磁场强度 (mT)	筛网面积 (m ²)	振动频率 (Hz)	功率 (kW)
移动式水洗设备	—	>50	—	—	—	—	>10
固定式砖混分离设备	—	>50	—	—	—	—	—
移动式砖混分离设备	—	>30	—	—	—	—	—

注：a 表中未列的其他设备参数，可根据建筑垃圾再生利用情况，选择与处理能力相匹配且性能高的参数。
b 筛分设备宜采用振动筛。

5.4.10 降尘设备应根据环保要求进行配置。建筑垃圾加工时，降尘设备应先于生产加工系统启动，生产加工系统停机时降尘设备应至少延时 10min 停机。

6 再生材料技术要求及应用范围

6.1 分类及技术要求

6.1.1 建筑垃圾再生材料使用前应进行质量检测，不同批次材料应分别取样，检测合格后方可使用。

6.1.2 建筑垃圾再生材料分为 I 类、II 类、III 类三个技术类别。

6.1.3 I 类、II 类再生骨料各分为再生粗骨料和再生细骨料两类。

6.1.4 I 类建筑垃圾再生骨料颗粒组成应符合表 2 和表 3 的规定。

表 2 I 类建筑垃圾再生粗骨料颗粒组成

粒径 (mm)	通过以下筛孔 (mm) 百分率 (%)							
	37.5	31.5	26.5	19.0	16.0	9.5	4.75	2.36
20~30	100	90~100	—	—	0~15	—	0~5	—
10~20	—	—	100	85~100	—	0~15	0~5	—
5~10	—	—	—	—	100	85~100	0~20	0~5

表 3 I 类建筑垃圾再生细骨料颗粒组成

粒径 (mm)	通过以下筛孔 (mm) 百分率 (%)							
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.015	0.075
通过百分率 (%)	100	90~100	65~95	35~65	15~30	5~20	0~20	0~10

6.1.5 II 类建筑垃圾再生骨料颗粒组成应符合表 4 和表 5 的规定。

表 4 II 类建筑垃圾再生粗骨料颗粒组成

粒径 (mm)	通过以下筛孔 (mm) 百分率 (%)					公称粒径 (mm)
	37.5	31.5	19.0	9.5	4.75	
20~30	100	90~100	0~10	—	—	19~31.5
10~20	—	100	90~100	0~10	0~5	9.5~19
5~10	—	—	100	90~100	0~10	4.75~9.5

表 5 II 类建筑垃圾再生细骨料颗粒组成

粒径 (mm)	通过以下筛孔 (mm) 百分率 (%)				
	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
0~5	100	90~100	—	—	0~20

6.1.6 建筑垃圾 I 类、II 类再生粗骨料、细骨料的技术要求应符合 JTG/T 2321 的规定。

6.1.7 III 类建筑垃圾再生材料粒径较大，4.75mm 以上颗粒含量较多。用于路基填筑时，填料粒径应小于 150mm，路床及台背填料粒径应小于 100mm。用于垫层或换填处理时，最大粒径不宜大于 100mm，含泥量不应大于 5%。用于挤淤地基处理时，宜采用较大粒径，其中 300mm 粒径以上的块料含量不宜小于 80%。

6.1.8 III 类建筑垃圾再生材料的技术要求应符合 JTG/T 2321 的规定。

6.1.9 再生微粉，技术要求应符合表 6 的规定。

表 6 再生微粉技术要求

项目	参数范围	试验方法
细度/45um 方孔筛筛余 (%)	≤45%	参照 GB/T 1345 执行。
需水量比 (%)	≤115	参照 JG/T 573 执行。
活性指数 (%)	≥60	参照 JG/T 573 执行。
流动度 2h 经时变化量 (mm)	≤60	参照 JG/T 573 执行。
亚甲蓝 MB 值	<1.4	参照 GB/T 30190 执行。
安定性 (沸煮法)	合格	参照 GB/T 1346 执行。
含水量 (%)	≤1.0	参照 GB/T 1596 执行。
氯离子含量 (质量分数) (%)	≤0.06	参照 GB/T 176 执行。
三氧化硫含量 (质量分数) (%)	≤3.0	参照 GB/T 176 执行。

6.2 应用范围

6.2.1 各类再生材料应用范围应符合表 7 的规定。

表 7 各类再生材料应用范围

应用范围		I 类		II 类			III 类	再生微粉类
		A 级	B 级	A 级	B 级	C 级		
水泥混凝土	公路非承重结构水泥混凝土构件和相应等级水泥混凝土	√	√					√
	人行道砖		√	√				√
	再生砂浆							√
路面基层	高速、一级公路基层			√				
	高速、一级公路底基层、二级及二级以下公路基层			√	√			
	二级及二级以下公路底基层			√	√	√		√
路基	台背回填、桩类地基			√	√	√		
	各等级公路路基填筑、地基换填、垫层处理			√	√	√	√	
	泡沫轻质混凝土							√

6.2.2 建筑垃圾再生微粉可用于水泥混凝土、砂浆及轻质材料等，并符合以下规定：

a) 建筑垃圾再生微粉用于水泥混凝土、砂浆的配合比设计计算应符合 JGJ 55 的规定。

b) 利用建筑垃圾再生微粉制备的泡沫轻质填料，可用于公路路基拼宽、桥（台）背回填、软基处治等工程中。利用建筑垃圾再生微粉制备泡沫轻质填料，应用于路基工程时，应符合 JTG D30 的规定，无侧限抗压强度应不小于 0.6MPa。

7 资源化利用

7.1 一般规定

7.1.1 公路改扩建工程建设，宜对全线既有结构物拆除情况充分调查、合理评价，从低碳、高值、环保、经济层面出发，结合工程建设进度和建筑垃圾空间分布，制定资源化利用方案，加强再生资源统筹规划。

注：利用既有公路资源进行改扩建，具有节约土地、保护环境、降低造价等优点，提倡通过技术创新，充分利用既有公路资源，优先就地处理利用，以体现改扩建的优势。这需要科学论证、精心设计。制定资源化利用方案，从结构物拆除、建筑垃圾加工处理到再生利用工程，通过精细化、差异化、工业化管理，提升建筑垃圾资源化利用品质和利用水平。

7.1.2 宜考虑再生材料的物质组成、强度特征、材料品质与利用价值等因素，编制差异化利用技术方案。

7.1.3 建筑垃圾再生材料可用于路基填筑、台背回填、地基处理、路面基层，以及支挡、防护、排水等工程中。

7.1.4 公路改扩建工程拆除结构物应优先考虑整体、分解、切块再安装利用，按强度等级再生材料宜优先利用混凝土类、石料类、砖类。

7.1.5 建筑垃圾再生资源化利用工程质量检验验收应按照 JTG F80/1 执行。

7.2 路基路面工程

7.2.1 建筑垃圾再生材料路基工程利用，应满足改扩建公路路基强度和稳定性，并满足使用功能。同时，应采取必要的措施，控制新旧路基差异沉降。

7.2.2 建筑垃圾再生材料路基填筑应铺筑试验段，总结施工工艺、压实工艺和差异沉降控制主要参数，指导后续施工。试验段修建应符合以下规定：

a) 试验段修建前，应对不同材料按本文件要求进行相关参数试验。

b) 试验段通常选择在地质条件、断面形式等工程特点具有代表性的地段，试验段长度一般不宜小于 200m。

c) 通过试验段确定机械组合、压实机械规格、松铺厚度、碾压遍数、碾压速度、最佳含水率等。

d) 通过试验段确定新旧路基差异沉降控制有效处理措施。

7.2.3 建筑垃圾再生材料路基填筑设计应符合以下规定：

a) 建筑垃圾再生材料填筑路堤时，为防止对土壤或者地下水产生影响，可在路基底部铺设一层黏土或无机结合料稳定土，厚度为 30~50cm。

b) 当采用植草防护或骨架植物综合防护时，边坡表面宜覆盖 30cm 厚度的种植土。

7.2.4 建筑垃圾再生材料路基施工过程中，应人工清拣钢筋、塑料袋、模板等杂物。

7.2.5 新建路基与既有路基搭接处，宜采用开挖台阶搭接，台阶宽度不宜小于 1m，并对拼接部位加强检测。

7.2.6 再生材料路基应水平分层、分段填筑，分层压实。同一水平层全宽路基填料应选择同一批次、同一粒径的再生材料填筑，不宜将性质不同、粒径组成相差较大的再生材料混合填筑。拼宽路基应考虑既有路基原有填料性质，优选选择性质相近的材料，保证拼接质量。

7.2.7 施工过程中含水率控制应符合以下规定：

a) 施工前应测定建筑垃圾再生材料的天然含水率，最佳含水率和最大干密度，计算确定施工过程中

所需的补水量。

b) 洒水宜分两次进行。第 1 次洒水约为需水量的 60%~70%，第 2 次洒水约为需水量的 30%~40%。

c) 应及时检测再生材料的含水率，以保证其处于最佳含水率 $\pm 2.0\%$ 范围内。

7.2.8 建筑垃圾再生材料路基施工应按 JTG/T 2321 和 JTG/T 3610 的要求执行。

7.2.9 建筑垃圾再生材料用于地基处理、台背回填应按 JTG/T 2321 的要求执行。

7.2.10 水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料可用于稳定建筑垃圾再生材料。用于路面基层的建筑垃圾再生材料应符合 II 类再生材料的技术要求。

7.2.11 建筑垃圾在路基路面工程中的质量检查与验收应符合以下规定：

a) 再生材料路基质量检验项目与验收标准应符合表 8 的规定。

表 8 再生材料路基工程检验项目与验收标准

项目	规定值或允许偏差		检查方法和频率
	高速公路、一级公路	二级及二级以下公路	
外观	表面平整密实，不得有明显轮迹、杂物，及离析		目测：随时
压实质量	压实度 (%) ≥ 96	压实度 (%) ≥ 95	灌砂法：每 200m 每压实层测 4 处
	沉降差 \leq 试验路段确定的沉降差		精密水准仪：每 50m 检测一个断面，每个断面检测 5 点
弯沉 (0.01mm)	满足设计要求		-
纵断高程	+10, -20	+10, -30	水准仪：每 200m 测 2 个断面
中线偏位	≤ 50	≤ 100	全站仪：每 200m 测 2 点，弯道加 HY、YH 两点
碾压厚度 (cm)	≤ 25 路床 ≤ 30 路堤		水准仪：每 200m 测 4 个断面

b) 在不同公路等级、不同层位铺筑无机结合料稳定建筑垃圾再生骨料路面基层，施工质量实测项目及频率应符合表 9 的规定。

表 9 无机结合料稳定建筑垃圾再生骨料路面基层施工质量实测项目及频率

项目	频率				质量要求				试验方法
	高速公路、一级公路		二级及二级以下公路		高速公路、一级公路		二级及二级以下公路		
	基层	底基层	基层	底基层	基层	底基层	基层	底基层	
压实度	每作业段或每 2000m ² 测 6 次以上				$\geq 98\%$	$\geq 97\%$	$\geq 97\%$	$\geq 96\%$	JTG 3450
强度	每作业段或每 2000m ² 测一组 9~13 个试件				满足设计要求				JTG 3441

7.3 支挡、防护、排水工程

7.3.1 利用建筑垃圾再生材料制备的水泥混凝土构件可用于公路支挡、防护、排水等工程中，用于支挡工程时，应进行稳定性计算。

7.3.2 用于制作水泥混凝土构件的建筑垃圾再生材料应符合 I 类建筑垃圾再生材料的技术要求。

7.3.3 再生骨料水泥混凝土配合比设计及构件制备应符合附录 A 的规定。再生骨料掺配率应根据水泥混凝土强度等级和再生骨料母体强度等级，通过试验确定，必要时，通过掺入外掺剂对再生骨料水泥混凝土进行性能提升。

7.3.4 再生骨料水泥混凝土用于制作人字形、拱形骨架砌块时，宜优先采用预制结构。

注：需室内制作预制构件，便于进行掺配量和构件质量控制。

7.3.5 再生骨料水泥混凝土用于路基支挡、防护、排水工程时，强度要求应符合表 10 的规定。

表 10 材料强度要求

材料类型	强度等级	适用范围
再生骨料水泥混凝土	C15	喷射混凝土、挡土墙基础
	C20	护坡、挡土墙、土钉面板；边沟、排水沟等
	C30	框架格子梁、地梁、单锚墩

注：C15、C20 等级再生骨料水泥混凝土在中冻区、重冻区应用时材料强度等级应提高一级。

7.3.6 再生骨料水泥混凝土用于制作预制构件时，外观尺寸检查应满足表 11 的规定。

表 11 外观尺寸检查

项目	测试指标	技术要求 (mm)
外观尺寸检查	长度	±2
	宽度	±2
	高度	+3, -2

7.3.7 多年冻土地区，受冻融循环影响地区的工程，再生骨料水泥混凝土结构应进行耐久性设计。

7.4 其他混凝土工程

7.4.1 再生骨料水泥混凝土可用于路面砖、路缘石、围护结构及其他水泥混凝土构件工程中。

7.4.2 通过配合比设计，建筑垃圾再生材料可直接用于非承重类混凝土构件中。利用物理、化学等方法对建筑垃圾高强度再生材料处理后，经过技术论证，可用于承重混凝土构件中，但不宜超过 C40 强度混凝土。

注：按照 JTGT 2321 中的规定：考虑应用工程的耐久性，I 类建筑垃圾再生材料仅用于公路非承重结构水泥混凝土构件和配制相应等级混凝土，不推荐建筑垃圾再生材料应用于承重结构混凝土，若用于承重结构混凝土，需经试验论证后方可使用。大量科研成果及应用结果表明，经过物理、化学方法处理后，建筑垃圾再生骨料品质得到大幅提升，可满足高等级混凝土技术要求。为了进一步提升建筑垃圾资源化利用率，工程实践中，经过技术充分论证后，可用于承重混凝土构件中，同时根据工程经验，C40 以上强度再生骨料水泥混凝土往往经济性较差，应用较少。

7.4.3 再生骨料水泥混凝土用于工程承重构件时，应进行强度和稳定性计算。技术要求应符合表 12 的规定。

表 12 承重类水泥混凝土构件技术要求

测试指标	技术要求	执行标准
线性干燥收缩值	$\leq 0.45\text{mm/m}$	GB/T 8239
吸水率	$\leq 10\%$	GB/T 8239
碳化系数	≥ 0.85	GB/T 8239
软化系数	≥ 0.85	GB/T 8239
抗冻性	25 次冻融循环后，质量损失率平均值 $\leq 5\%$ ， 单块最大值 $\leq 10\%$ ； 强度损失率平均值 $\leq 20\%$ ， 单块最大值 $\leq 30\%$ 。	GB/T 8239

7.4.4 再生骨料水泥混凝土用于工程非承重构件时，技术要求应符合表 13 的规定。

表 13 非承重类水泥混凝土构件技术要求

测试指标	技术要求	执行标准
线性干燥收缩值	$\leq 0.65\text{mm/m}$	GB/T 8239
吸水率	$\leq 14\%$	GB/T 8239
碳化系数	≥ 0.85	GB/T 8239
软化系数	≥ 0.85	GB/T 8239
抗冻性	25 次冻融循环后, 质量损失率平均值 $\leq 5\%$, 单块最大值 $\leq 10\%$; 强度损失率平均值 $\leq 20\%$, 单块最大值 $\leq 30\%$ 。	GB/T 8239

再生路面砖以粒径小于 9.5mm 的再生骨料为原材料, 与水泥、水等材料混合, 经过搅拌、成型、养护等工艺生产, 用于路面和地面铺装的混凝土砖。路面砖质量检查与验收应符合以下规定:

a) 路面砖外观质量检查, 长度、厚度和宽度的允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ 。

b) 混凝土路面砖的抗压强度(MPa)分为C_c40、C_c50、C_c60三个等级, 抗折强度(MPa)分为C_f4.0、C_f5.0、C_f6.0三个等级, 强度等级应符合表14的规定。

表 14 再生路面砖强度等级

抗压强度 (MPa)			抗折强度 (MPa)		
抗压强度等级	平均值	单块最小值	抗折强度等级	平均值	单块最小值
C _c 40	≥ 40.0	≥ 35.0	C _f 4.0	≥ 4.00	≥ 3.20
C _c 50	≥ 50.0	≥ 42.0	C _f 5.0	≥ 5.00	≥ 4.20
C _c 60	≥ 60.0	≥ 50.0	C _f 6.0	≥ 6.00	≥ 5.00

c) 再生路面砖的物理性应符合表 15 的规定。

表 15 再生路面砖物理性能

序号	项目		指标
1	耐磨性	磨坑长度 ^a /mm	≤ 32.0
		耐磨度 ^a	≥ 1.9
2	抗冻性	强度损失率/%	≤ 20.0
3	吸水率/%		≤ 6.5
4	防滑性		≥ 60
5	抗盐冻性 ^b (剥落量)		平均值 ≤ 1000 , 且最大值 < 1500

注: ^a磨坑长度与耐磨度选一项做耐磨性试验。
^b不与融雪剂接触的混凝土路面砖不要求抗盐冻性。

附录 A

(规范性)

再生骨料水泥混凝土设计

A.1 配合比设计

再生骨料水泥混凝土配合比的试配强度、水胶比、净用水量可按下列公式计算：

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (\text{A.1})$$

$$f_{cu,0} = \alpha_a(\beta)f_b \left[\frac{B}{W_a} - \alpha_b(\beta) \right] \quad (\text{A.2})$$

$$\alpha_a(\beta) = 0.46 + 0.36\beta \quad (\text{A.3})$$

$$\alpha_b(\beta) = 0.37 + 1.79\beta + 0.92\beta^2 \quad (\text{A.4})$$

$$W_a = W - W_{1h} \quad (\text{A.5})$$

式中：

$f_{cu,0}$ ——再生骨料水泥混凝土的试配抗压强度 (MPa)；

$f_{cu,k}$ ——再生骨料水泥混凝土立方体抗压强度标准值 (MPa)；

σ ——再生骨料水泥混凝土抗压强度标准差 (MPa)；

f_b ——胶凝材料 (水泥与矿物掺合料按使用比例混合) 28d 龄期的抗压强度实测值 (MPa)；

$\frac{B}{W_a}$ ——再生骨料水泥混凝土胶水比，其中 B 为胶凝材料的用量 (kg)；

$\alpha_a(\beta)$ 、 $\alpha_b(\beta)$ ——回归系数；

β ——掺配率 (%)；

W_a ——再生骨料水泥混凝土的净用水量 (kg)；

W_{1h} ——再生骨料 1h 吸水量 (kg)；

W ——再生骨料水泥混凝土单位用水量 (kg)。

A.2 构件制备

a) 再生骨料水泥混凝土预制构件应采用集中厂拌预制。

b) 再生骨料水泥混凝土拌和宜采用强制式搅拌机，有条件时可采用振动搅拌，随着再生骨料掺量的增加宜增加搅拌时间 10~20s。

c) 再生骨料水泥混凝土振捣宜采用固定的高频振动台，振动台台面应设置固定模具装置。

d) 再生骨料水泥混凝土构件的养护拆模时间应不小于 24h。

e) 再生骨料水泥混凝土构件宜采用有保温保湿的养护室养护。无养护室时，应采用覆盖喷水养护，且不得在通风处养护。

参考文献

- [1] 中华人民共和国大气污染防治法
 - [2] 中华人民共和国固体废物污染环境防治法
 - [3] HJ/T 393 防治城市扬尘污染技术规范
 - [4] GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
 - [5] GB 8978 污水综合排放标准
-