

# JTG

中华人民共和国行业推荐性标准

JTG/Txxxx-xx—xxxx

## 公路工程利用建筑垃圾 技术规范

Technical specifications for utilization of construction waste in  
highway engineering

(征求意见稿)

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国行业推荐性标准

# 公路工程利用建筑垃圾技术规范

Technical specifications for utilization of construction waste in

highway engineering

JTG/T xxxx xx—xxxx

主编单位：陕西省交通建设集团公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

实施日期：xxxx年xx月xx日

## 前 言

根据交通运输部《关于下达 2019 年度公路工程行业标准制修订项目计划的通知》（交公路函〔2019〕427 号）的要求，由陕西省交通建设集团公司作为主编单位，承担《公路工程利用建筑垃圾技术规范》（JTG/T xxxx-xx—xxxx）（以下简称“本规范”）的制订工作。

随着我国城市化进程的加快，建筑垃圾日益增多，对城市环境、居民居住、生态文明等产生巨大影响。一方面，我国建筑垃圾资源化利用率相对较低，且公路建设材料匮乏，特别是近年来环境保护要求不断提高，砂石料等建筑材料的开采受限，综合利用建筑垃圾再生材料替代砂石材料是解决公路建设材料短缺的有效途径；另一方面，为了促进我国绿色交通、环境保护及可持续发展的要求，进一步规范建筑垃圾再生材料在公路建设中的应用。基于合理、全面、先进、实用的原则，本规范全面吸收了国内外建筑垃圾在公路工程领域的最新应用成果及规范标准，在借鉴和总结建筑垃圾公路工程领域的应用和工程实践经验的基础上编制而成。

本规范的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语及符号；3. 建筑垃圾再生材料生产加工；4. 建筑垃圾再生材料应用范围与技术要求；5. 建筑垃圾再生材料路基设计与施工；6. 建筑垃圾再生集料路面设计与施工；7. 建筑垃圾再生集料混凝土设计与施工。

本规范首次发布。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规范日常管理组，联系人：张喜民（地址：陕西省西安市雁塔区唐延路 6 号，陕西省交通建设集团公司，邮编：710075；电话：15309273292；传真：029-89016088；电子邮箱：191490865@qq.com），以便下次修订时参考。

**主 编 单 位：**陕西省交通建设集团公司

**参 编 单 位：**长安大学

陕西省交通规划设计研究院  
北京新桥科技发展有限公司  
北京城建华晟交通建设有限公司  
北京建筑大学  
同济大学

主 编：

主要参编人员：

主 审：

参与审查人员：

参 加 人 员：

征求意见稿

<h1>目次</h1>	
<b>1 总则</b> .....	1
<b>2 术语及符号</b> .....	2
2.1 术语 .....	2
2.2 符号 .....	4
<b>3 建筑垃圾再生材料生产加工</b> .....	5
3.1 一般规定 .....	5
3.2 场地建设 .....	5
3.3 加工设备 .....	6
3.4 加工工艺 .....	9
3.5 环境保护 .....	11
3.6 安全操作要求 .....	12
<b>4 建筑垃圾再生材料应用范围与技术要求</b> .....	13
4.1 一般规定 .....	13
4.2 应用范围 .....	13
4.3 I级再生材料技术要求 .....	14
4.4 II级再生材料技术要求 .....	17
4.5 III级再生材料技术要求 .....	18
4.6 IV级再生材料技术要求 .....	19
4.7 V级再生材料技术要求 .....	20
<b>5 建筑垃圾再生材料路基设计与施工</b> .....	22
5.1 一般规定 .....	22
5.2 地基处理 .....	22
5.3 路基填筑 .....	25
<b>6 建筑垃圾再生集料路面设计与施工</b> .....	28
6.1 一般规定 .....	28

6.2	技术要求	28
6.3	水泥稳定建筑垃圾再生集料基层	29
6.4	水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生集料基层	30
6.5	石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生集料基层	31
6.6	施工	32
6.7	质量检查与验收	34
<b>7</b>	<b>建筑垃圾再生集料混凝土设计与施工</b>	<b>37</b>
7.1	一般规定	37
7.2	技术要求	37
7.3	配合比设计	39
7.4	施工	41
7.5	质量检查与验收	41
<b>附录 A 再生混凝土颗粒含量及轻质杂物含量试验方法</b>		<b>43</b>
<b>附录 B 再生混合料用于路缘石抗折强度试验方法</b>		<b>45</b>

## 公路工程利用建筑垃圾技术规范

### 1 总则

1.0.1 为规范建筑垃圾在公路工程中的再生利用，提升建筑垃圾整体利用水平，制定本规范。

1.0.2 本规范规定了公路工程利用建筑垃圾材料的生产加工、应用范围、技术要求、设计施工及质量检验要求。

1.0.3 本规范适用于各等级公路新建及改扩建工程，其他工程可参照执行。

1.0.4 建筑垃圾再生利用应遵循统筹规划、政府推动、市场引导、因地制宜的原则。

1.0.5 建筑垃圾再生材料在储存、运输、加工过程中应满足相关环境保护的要求，进行资源化、无害化处置，防止对土壤及水源产生影响。

1.0.6 建筑垃圾再生利用除应符合本规范规定外，尚应符合国家、行业相关规定。

## 2 术语及符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 建筑垃圾 construction waste

指拆迁、建设、装修等生产活动中产生的混凝土、砖石等固体废弃物。

#### 2.1.2 建筑垃圾再生材料 construction waste recycled materials

对建筑垃圾分选、加工生产后形成的再生建筑材料。

#### 2.1.3 建筑垃圾再生集料 construction waste recycled aggregate

对建筑垃圾进行分拣、破碎、筛分后形成的不同粒径的材料。

#### 2.1.4 建筑垃圾再生粗集料 construction waste recycled coarse aggregate

建筑垃圾再生集料中粒径大于或等于 4.75mm 的颗粒。

#### 2.1.5 建筑垃圾再生细集料 construction waste recycled fine aggregate

建筑垃圾再生集料中粒径小于 4.75mm 的颗粒。

#### 2.1.6 杂物 impurities

建筑垃圾再生集料中除混凝土、砖块、砂浆、石块、陶瓷之外的其他物质。

#### 2.1.7 杂物含量 content of impurities

杂物质量占建筑垃圾再生集料总质量的百分比。

#### 2.1.8 轻质杂物 lightweight impurities

建筑垃圾中密度较小的杂物，包括木块、塑料、布片、纸屑、泡沫颗粒等。

**2.1.9 轻质杂物含量** content of lightweight impurities

轻质杂物的质量占建筑垃圾再生材料总质量的百分比。

**2.1.10 替代率** displacement rate

建筑垃圾再生集料替占常规集料的质量百分比。

**2.1.11 建筑垃圾加工设备** processing equipment of construction waste

用于生产加工建筑垃圾的机械设备，分为固定式和移动式，主要包括给料、破碎、除铁、轻物质分离、除尘和筛分等设备。

**2.1.12 再生混凝土颗粒** recycled concrete particle

建筑垃圾再生集料中混凝土质和石质颗粒的统称。

**2.1.13 再生混凝土颗粒含量** content of recycled concrete particle

建筑垃圾再生集料中再生混凝土颗粒质量占总质量的百分比。

**2.1.14 再生集料混凝土** recycled aggregate concrete

采用掺配建筑垃圾再生集料配制而成的混凝土。

**2.1.15 微粉含量** content of fine powder

建筑垃圾再生集料中粒径小于 0.075mm 的颗粒含量。

## 2.2 符号

$f_{cu,0}$ ——再生集料混凝土 28d 龄期的立方体抗压强度实测值, MPa

$f_b$ ——胶凝材料 28d 龄期的抗压强度实测值, MPa

$\frac{B}{W_a}$ ——再生集料混凝土胶水比, 其中  $W_a$  为再生集料混凝土的净用水量, kg

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

$\beta$ ——替代率

$W_a$ ——净水用量, kg

$w_{1h}$ ——再生粗集料 1h 吸水量, kg

## 3 建筑垃圾再生材料生产加工

### 3.1 一般规定

3.1.1 建筑垃圾再生材料生产加工应建立全过程管理制度，推进综合利用，防止污染环境。

3.1.2 建筑垃圾应以杂质含量少、均匀性好为优选原则。

3.1.3 建筑垃圾生产加工场地的设置应结合当地建筑垃圾处置规划统筹考虑。

3.1.4 建筑垃圾生产加工过程中应加强对生态环境的保护，减少扬尘、噪声，防止土壤和水源污染。

3.1.5 建筑垃圾运输应配备专用运输设备。

### 3.2 场地建设

3.2.1 厂址选择和规划应符合下列规定：

1 厂址选择应满足区域建设规划和场地布局的要求。

2 加工场地应包括原材料堆放区、加工区、再生材料堆放区、办公生活区以及厂区道路。

3.2.2 加工厂出入口道路应与厂外道路连接平顺，并应设置相应排水设施。

3.2.3 原材料堆放区应符合下列规定：

1 原材料可采取露天或设棚堆放方式，露天堆放时应及时覆盖，防止扬尘。

2 原材料堆放区的储存能力应满足建筑垃圾进场的要求，并应满足生产对储存量及大型车辆装卸、运输的要求。

3 堆放高度不宜超过 5m，如堆放区储存量过大时，则需采用分级放坡堆放，避免发生滑塌事故。

4 原材料堆放区应高于周围地坪，堆放区四周应设置排水沟，并满足场地雨水导排要求。

5 原材料应根据来源不同分类存放。

#### 条文说明

建筑垃圾堆放高度不宜过高,具体高度可根据地基承载力和边坡稳定性计算,并考虑机械的作业半径,合理设置堆料场的进出口。

3.2.4 加工区的面积应结合加工技术、再生材料质量要求、加工厂生产效率等综合确定。

3.2.5 再生材料堆放区应符合下列规定:

1 成品堆放区面积宜与原材料堆放区面积相当,成品建筑垃圾再生材料应按照梯形堆放,每层的堆放高度不宜超过 5m。

2 再生材料应避免露天堆放,堆放区域应修建专门的料棚和料仓,按规格分隔堆放,防止降雨、大风产生二次污染。

3 保持再生材料堆放场地整洁、干净,及时对材料运输和堆放过程中产生的杂物进行清理。

4 再生材料不得直接放在原地面上,必须对场地地面进行硬化。

5 再生材料堆放区排水设施应符合本规范第 3.2.3 条第 4 款的规定。

### 3.3 加工设备

3.3.1 给料机系统应符合以下规定:

1 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。

2 给料设备的给料能力可在一定范围内进行调整,宜具备分选功能。

#### 条文说明

给料系统一般包括受料斗、给料机、辅助设施等,结合整体工艺设计,宜配备筛分功能;为适应不同工况条件下的供料要求,给料设备的供料能力应可调整,一般应满足 50%-110%负荷范围内稳定运行,同时为减少渣土对后续生产处理及产品质量的影响,供料设备宜具备渣土预筛分功能,可选用棒条振动给料机或重型筛分给料机。

3.3.2 破碎系统应符合以下规定:

1 根据建筑垃圾原料特性与资源化利用产品对再生材料的性能要求，合理制定破碎与筛分工艺组合，满足产能与效率、安全、易维护检修等要求。

2 一级破碎可采用颚式破碎或反击式破碎，二级破碎应采用反击式破碎或锤式破碎。

#### 条文说明

当建筑垃圾中细料较多时，设置预筛分工艺可以将细料分级筛出，减少后续破碎筛分负荷。

若后续产品对再生材料的颗粒级配、粒形有较高要求，需选择二级或以上破碎。一级破碎可根据原料特点，如废旧混凝土类较硬物料为主，可采用颚式破碎机，否则可采用反击式破碎机；二级破碎需兼顾级配和粒形可采用反击式破碎机或锤式破碎机。

为保证再生材料的成品粒径不超过使用要求，成品破碎应与筛分配合设计，通过筛分截留不满足要求的超规格料，返回破碎机再次破碎，从而形成闭路流程，满足再生材料的出料粒径要求。

#### 3.3.3 破碎机的技术参数应符合以下规定：

1 宜采用专业用于建筑垃圾的破碎机，可变多级破碎为单级破碎、具有钢筋剪切装置。

#### 条文说明

经过调研，采用变多级破碎为单级破碎的破碎机，工艺流程短，占地面积小，经济型较高；具有钢筋剪切装置的破碎机，不堵塞主机，运转效率高。

2 颚式破碎机宜满足以下参数：

1) 固定式进料口尺寸 900mm×1200mm 以上；移动式进料口尺寸 600mm×900mm 以上。

2) 固定式最大进料粒度 750mm 以上；移动式最大进料粒度 500mm 以上。

3) 固定式处理能力 200t/h 以上；移动式处理能力 100t/h 以上。

3 反击式破碎机宜满足以下参数：

1) 固定式、移动式最大进料粒度 500mm 以上。

2) 固定式处理能力 150t/h 以上；移动式处理能力 120t/h 以上。

### 条文说明

经过调研，移动式破碎设备多为一级破碎，若需要二级破碎，则一级破碎设备和二级破碎设备产能应匹配选择。

3.3.4 分选系统应根据处理对象特点和产品性能要求合理选择，轻物质分选率不应低于 95%，分选出的杂质物应集中收集、分类堆放、及时处置。

### 条文说明

本条规定轻物质分选率不低于 95%。轻物质分选率是指建筑垃圾经过破碎分选工艺，被分选出来的轻物质占建筑垃圾中轻物质总量的百分比。为便于杂物的后续处理，同时提高生产区域的有序管理水平，分选出的杂物要求集中收集、分类堆放。

4 磁选设备宜满足以下参数：

- 1) 固定式适应带宽 1000mm 以上；移动式适应带宽 800mm 以上。
- 2) 固定式额定吊高 300mm 以上；移动式额定吊高 250mm 以上。
- 3) 固定式、移动式磁场强度 70mT 以上。
- 4) 固定式、移动式适应带速 4.5m/s 以上。

5 筛分设备宜满足以下要求：

- 1) 固定式、移动式筛网面积 10m<sup>2</sup> 以上。
- 2) 固定式振动频率 16Hz 以上；移动式振动频率 13Hz 以上。
- 3) 固定式、移动式处理能力 100t/h 以上。
- 4) 采用振动筛。

### 条文说明

振动筛效率高，质量轻，系列完整多样，层次多，可以满足再生骨料筛分量大、规格多的要求。

6 风选设备宜满足以下参数：

- 1) 固定式、移动式功率 10kW 以上。
- 2) 固定式、移动式处理能力 50t/h 以上。

7 砖与混凝土分离设备宜满足以下要求：

- 1) 固定式、移动式分离效率 20t/h 以上。
- 2) 固定式、移动式混凝土出料口的混凝土块含量 85% 以上。

3) 不同档材料或在更换料源时应能调整设备所对应的参数。

8 抑尘设备的启动应先于生产加工系统启动,生产加工系统停机时抑尘设备应至少延时停机 10min,应在停机后将箱体和灰斗内的粉尘全部清除和卸出。

### 3.4 加工工艺

3.4.1 加工方式分为固定式和移动式两种。加工工艺应根据再生材料用途、技术要求综合确定。

3.4.2 建筑垃圾优先采用现场生产加工,不能满足要求时采用工厂加工。

#### 条文说明

经过广泛调研,运距是衡量利用建筑垃圾经济性的关键指标,建筑垃圾就地现场加工后直接运输到附近的施工道路上,有利于降低加工成本,提高经济性;用于配制混凝土和高速公路、一级公路基层时,应采用固定式加工厂加工,便于控制加工质量。

3.4.3 预处理应符合以下规定:

- 1 应设置预处理区,并配备建筑垃圾破碎处理设施与人工分拣设施。
- 2 应具备分类、粗破、拣选、降尘、排水等功能。

#### 条文说明

建筑垃圾堆场采取降尘处理是为了避免尘土飞扬、扩散,给作业现场和周边环境造成污染;通过粗破可将较大尺寸的块状物料破碎到后续工序可接受的尺寸范围,同时通过拣选将较大尺寸的金属、轻物质等分拣出来;考虑到喷淋及建筑垃圾含水等因素,预处理作业区内应具备排水功能。

不同类型的建筑垃圾,其处理工艺不同,入厂时分类存放,可减少分选工作量,提高处理能力,也有利于提高再生材料的质量。

3.4.4 物料输送设备应符合下列规定:

1 物料输送设备的选型应根据工艺布置、物料性质、输送能力、输送距离、输送高度等因素确定。

- 2 应增加专用输送带,以便人工分拣。

3.4.5 分选分离流程应符合下列规定:

1 分选分离工艺流程应包括除土、分选废金属、分选轻物质、粉体回收等环节。

2 分选分离宜采用干法工艺。

#### 条文说明

分选分离工艺流程需根据建筑垃圾组分特性以及所处地域等因素综合分析确定。干法工艺流程对环境影响较小，推荐优先采用干法工艺。干法工艺是指，处置工艺过程自始至终未采用水选、浮选等水处理工艺(不包括为降尘采用的喷淋预处理)；湿法工艺流程需要水源及水处理等辅助生产设施，工艺较为复杂。湿法工艺是指，建筑垃圾处置工艺过程采用浮选、水选等水处理工艺；干湿结合法是指，建筑垃圾处置过程中，部分物料采用含水的处理工艺，另一部分未采用含水的处理工艺。

3 分选工艺应根据建筑垃圾组分的不同特性，采用筛选、磁选、风选、浮选、光电分选等方法。

#### 条文说明

根据建筑垃圾含杂特性，通过筛分、风选、浮选、磁选等工艺选出建筑垃圾中渣土、轻物质、废金属等杂物。

4 砖混分离系统应根据再生产品对再生材料的质量要求进行选择。

#### 条文说明

砖混分离效率，是指被分离出来的砖在被分离建筑垃圾总量中所占的百分比。以砖为主的建筑垃圾加工得到的骨料，其吸水率大、压碎指标值高，用在混凝土里对其施工性能与力学性能等有不利影响。大量试验表明，再生材料用于混凝土中特别是强度等级较高(C30及以上)时，再生骨料中砖的含量要求不超过15%。

#### 3.4.6 破碎与筛分

1 破碎设备的类型应根据再生材料的质量要求而确定。

2 以砖为主的建筑垃圾应根据再生产品的技术要求，宜选用一级或二级破碎。

3 以混凝土为主的建筑垃圾应根据再生产品技术要求，宜选用二级破碎。

### 条文说明

以混凝土为主的建筑垃圾，是指废弃混凝土块含量占约90%以上，且不含废弃黏土砖类的建筑废弃物；以砖为主的建筑垃圾，是指废弃黏土砖含量不低于80%，最大几何尺寸大于300mm的废弃混凝土块含量为0，且最大几何尺寸小于300mm的废弃混凝土块含量不超过10%的建筑垃圾。

4 筛分工艺应根据再生材料的质量要求，采用一级、二级或多级筛分。

## 3.5 环境保护

3.5.1 建筑垃圾加工、运输、倾倒、压实等过程应采取相应措施，控制粉尘污染。

3.5.2 环境保护应采取有效措施防治废气、废水、固体废弃物及噪声对环境的污染，所排放的污染物应达到国家规定的排放标准。

### 条文说明

本条明确了建设项目的环保依法治理的内容。建筑废弃物再生工厂对环境的影响主要是大气污染、固体废弃物、噪声污染三个方面。大气污染主要是由于粉尘排放及烘干燃烧产生的废气对大气的污染，防治应符合《中华人民共和国大气污染防治法》；固体废弃物主要是由生产过程中产生的废料、废渣等，防治应符合《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过程中机械设备运行产生的噪声，防治应符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》的有关规定；另外，对于地方及特殊区域有相关要求且高于国家标准的，需按地方的规定执行。

3.5.3 建筑垃圾收集、运输、处理系统的环境保护与安全卫生除应满足以上规定外，尚应满足现行国家有关法律、行政法规和标准规范的规定。

### 条文说明

环境保护措施应按照《大气污染物综合排放标准》GB 16297、《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB 12348、《声环境质量标准》GB 3096、《环境空气质量标准》GB 3095、《地表水环境质量标准》GB 3838、《地下水质量标准》GB/T 14848、《污水综合排放标准》GB 8978等的有关规定执行。

### 3.6 安全操作要求

3.6.1 认真贯彻执行国家安全生产法律、法规及安全标准，严格执行企业各项安全生产规章制度，做好企业安全生产管理和人员安全防护等工作。

3.6.2 加工现场必须符合消防安全要求。

征求意见稿

## 4 建筑垃圾再生材料应用范围与技术要求

### 4.1 一般规定

4.1.1 建筑垃圾再生材料应洁净、均匀、无毒、无污染。

4.1.2 建筑垃圾再生材料可用于各等级公路新建和改建工程的地基处理、台背回填、路基、基层、底基层和非承重结构预制混凝土构件。

4.1.3 建筑垃圾再生材料分为五个等级，应根据工程部位选择使用。

### 4.2 应用范围

4.2.1 建筑垃圾再生材料应用范围应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 建筑垃圾再生材料应用范围

技术等级	应用范围
I 级	公路非承重结构预制混凝土构件和配制相应等级混凝土
II 级	高速、一级公路基层
III 级	高速、一级公路底基层，二级及二级以下公路基层
IV 级	二级及二级以下公路底基层
V 级	各等级公路地基处理、台背回填、路基

#### 条文说明

经广泛调研，结合陕西省西安外环高速公路北段、南段，河南省商南高速公路周口至南阳段、机西高速二期工程、洛阳南三环，湖南省长益高速扩容项目等公路及市政道路的规模化利用，建筑垃圾再生材料主要应用于公路的地基处理、台背回填、路基、基层、底基层和预制混凝土构件。为使建筑垃圾再生材料的选择更加清晰明确，将其划分为五个等级；考虑应用工程部位的耐久性，本规范不推荐应用于承重结构混凝土。

### 4.3 I级再生材料技术要求

4.3.1 I级再生材料颗粒级配应符合表 4.3.1-1 和 4.3.1-2 的规定。

表 4.3.1-1 I级再生粗集料颗粒级配

工程粒径 (mm)	通过以下筛孔 (mm) 累计筛余百分率 (%)							
	2.36	4.75	9.5	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5
20~30	—	95~100	—	85~100	—	—	0~10	0
10~20	—	95~100	85~100	—	0~15	0	—	—
5~10	95~100	80~100	0~15	0	—	—	—	—

表 4.3.1-2 I级再生细集料颗粒级配

筛孔尺寸 (mm)	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.015	0.075
累计筛余 (%)	0	0~10	5~35	35~65	70~85	80~95	80~100	90~100

#### 条文说明

《混凝土用再生粗骨料》(GB/T 25177) 规定了再生粗骨料 5mm~10mm、10mm~20mm、16mm~31.5mm 单粒径级配以及 5mm~16mm、5mm~20mm、5mm~25mm、5mm~31.5mm 连续粒径级配；《混凝土和砂浆用再生细骨料》(GB/T 25176) 将再生细骨料的级配分为 I 级配区、II 级配区及 III 级配区。

参考《混凝土和砂浆用再生细骨料》(GB/T 25176)、《混凝土用再生粗骨料》(GB/T 25177) 的相关要求，经广泛调研与室内试验，确定了 I 级再生材料颗粒级配。

4.3.2 I 级再生材料的粗集料、细集料按性能要求分为 I 类、II 类，其选用应符合以下规定：

- 1 I 类再生集料可用于 C40 以下强度等级混凝土的配制。
- 2 II 类再生集料可用于 C25 及其以下强度等级混凝土的配制。

#### 条文说明

经广泛调研及室内试验测试，虽已有研究表明建筑垃圾再生集料混凝土的强度可达 C40 及以上，但考虑目前再生材料的来源、生产加工条件及公路工程应用范围，建议 I 级再生集料适用于 C40 以下强度等级的混凝土的工程中。

4.3.3 I 级再生材料技术要求应符合表 4.3.3-1 和 4.3.3-2 的规定。

表 4.3.3-1 I 级再生粗集料技术要求

项目		I 类	II 类	试验方法
表观密度 (kg/m <sup>3</sup> )		≥2350	≥2250	GB/T 14685
空隙率 (%)		<50	<53	
压碎值 (%)		<20	<30	
轻质杂物含量 (%)		≤0.1		附录 A
再生混凝土颗粒含量 (%)		≥60	≥40	
微粉含量 <sup>a</sup> (%)		<2.0	<3.0	GB/T 14685
泥块含量 (%)		<0.7	<1.0	
吸水率 (%)		<5.0	<8.0	GB/T17431.2
针片状颗粒含量 (%)		<10.0		GB/T 14685
坚固性 (饱和硫酸钠溶液中质量损失) (%)		<10.0	<15.0	
有害物质含量	有机物	合格		
	硫化物及硫酸盐 (折算成 SO <sub>3</sub> , 按质量计) (%)	<2.0		
	氯化物 (以氯离子质量计) (%)	<0.06		
				GB/T 14684

注：<sup>a</sup>微粉含量按照 GB/T 14685 中规定的含泥量试验方法执行。

表 4.3.3-1 I 级再生细集料技术要求

项 目		I 类	II 类	试验方法
表观密度 (kg/m <sup>3</sup> )		≥2450	≥2350	GB/T 14684
堆积密度 (kg/m <sup>3</sup> )		≥1350	≥1300	
空隙率 (%)		<46	<48	
微粉含量 (%)	亚甲蓝 (MB) 值<1.40 或合格	<5.0	<7.0	
	亚甲蓝 (MB) 值≥1.40 或不合格	<1.0	<3.0	
泥块含量 (%)		<1.0	<2.0	
单级最大压碎值 (%)		<20	<25	
坚固性 (饱和硫酸钠溶液中质量损失) (%)		<8.0	<10.0	
碱集料反应性能		经碱集料反应试验后, 由再生细集料制备的试件无裂缝、酥裂或胶体外溢等现象, 膨胀率小于 0.10%。		
有害物质含量	云母含量 (%)	<2.0		
	轻物质含量 (%)	<1.0		
	有机物含量 (比色法)	合格		
	硫化物及硫酸盐 (折算成 SO <sub>3</sub> , 按质量计) (%)	<2.0		
	氯化物 (以氯离子质量计) (%)	<0.06		

## 条文说明

《混凝土用再生粗骨料》(GB/T 25177) 中的 I 类再生粗骨料可用于配制各种强度等级的混凝土; II 类再生粗骨料可用于配制 C40 以下强度等级的混凝土; III 类再生粗骨料用于配制 C25 以下强度等级的混凝土, 不宜用于配制有抗冻性要求的混凝土。

《混凝土和砂浆用再生细骨料》(GB/T 25176) 中 I 类再生细骨料可用于配制 C40 以下强度等级的混凝土；II 类再生细骨料可用于配制 C25 以下强度等级的混凝土；III 类再生细骨料不宜用于配制混凝土。

本规范 I 级再生粗集料 I 类与 II 类技术要求分别参照《混凝土用再生粗骨料》(GB/T 25177) 条文规定中的 II 类与 III 类标准；I 级再生细集料 I 类与 II 类技术要求分别参照《混凝土和砂浆用再生细骨料》(GB/T 25176) 条文规定中的 I 类与 II 类标准。同时经广泛调研，考虑混凝土的力学性能和耐久性，对 I 级再生粗集料的再生混凝土颗粒含量进行了规定。

#### 4.4 II 级再生材料技术要求

4.4.1 II 级再生材料颗粒级配宜符合表 4.4.1-1 和 4.4.1-2 的规定。

表 4.4.1-1 II 级再生粗集料颗粒级配

工程粒径 (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 4.4.1-2 II 级再生细集料颗粒级配

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

#### 条文说明

《公路路面基层施工技术细则》(JTGT F20) 中粗集料规格要求的工程粒径为 5mm~10mm、5mm~15mm、10mm~15mm、10mm~20mm、10mm~25mm、15mm~20mm、15mm~25mm、20mm~25mm、20mm~30mm、20mm~40mm，细集料规格要求的工程粒径为 0mm~3mm、0mm~5mm、3mm~5mm。再生集料用于公路基层主要替换部分石料，其工程粒径规格不宜繁多，经广泛调研与室内测试，参照《公路路面基层施工技术细则》(JTGT F20) 相关规定，推荐再生

集料颗粒级配，可参考执行。

4.4.2 II级再生材料技术要求应符合表4.4.2-1和4.4.2-2的规定。

表 4.4.2-1 II级再生粗集料技术要求

项 目	技术要求	试验方法
压碎值 (%)	≤30	T0316
针片状颗粒含量 (%)	≤18	T0312
<0.075mm 含量 (含泥量) (%)	≤1.2	T0310
轻质杂物含量 (%)	≤0.3	附录 A
再生混凝土颗粒含量 (%)	≥40	

表 4.4.2-2 II级再生细集料技术要求

项 目	技术要求	试验方法
0.075mm 以下材料的塑性指数	≤17	T0118
砂当量 (%)	≥40	T0334
有机质含量 (%)	<2.0	T0336
硫酸盐含量 (%)	0.25	T0341
泥块含量 (%)	≤2.0	GB/T14684

#### 条文说明：

再生粗集料的针片状颗粒含量、<0.075mm 含量以及再生细集料的塑性指数、有机质含量、硫酸盐含量参照《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)关于粗集料、细集料的相关要求；再生粗集料的压碎值、轻质杂物含量、再生混凝土颗粒含量以及再生细集料的泥块含量经广泛调研及室内试验测试确定。下同。

## 4.5 III级再生材料技术要求

4.5.1 III级再生材料集料级配与II级级配要求一致。

4.5.2 III级再生材料技术要求应符合表 4.5.2-1 和 4.5.2-2 的规定。

表 4.5.2-1 III级再生粗集料技术要求

项 目	技术要求	试验方法
压碎值 (%)	$\leq 35$	T0316
针片状颗粒含量 (%)	$\leq 20$	T0312
<0.075mm 含量 (含泥量) (%)	$\leq 2.0$	T0310
轻质杂物含量 (%)	$\leq 0.5$	附录 A
再生混凝土颗粒含量 (%)	$\geq 35$	

表 4.5.2-2 III级再生细集料技术要求

项 目	技术要求	试验方法
0.075mm 以下材料的塑性指数	$\leq 17$	T0118
砂当量 (%)	$\geq 40$	T0334
有机质含量 (%)	$< 2.0$	T0336
硫酸盐含量 (%)	0.25	T0341
泥块含量 (%)	$\leq 3.0$	GB/T14684

#### 4.6 IV级再生材料技术要求

4.6.1 IV级再生材料集料级配与II级级配要求一致。

4.6.2 IV级再生材料技术要求应符合表 4.6.2-1 和 4.6.2-2 的规定。

表 4.6.2-1 IV级再生粗集料技术要求

项 目	技术要求	试验方法
压碎值 (%)	≤40	T0316
针片状颗粒含量 (%)	≤20	T0312
<0.075mm 颗粒含量 (%)	≤5.0	T0310
轻质杂物含量 (%)	≤1.0	附录 A
再生混凝土颗粒含量 (%)	≥30	

表 4.6.2-2 IV级再生细集料技术要求

项 目	技术要求	试验方法
0.075mm 以下材料的塑性指数	≤17	T0118
砂当量 (%)	≥40	T0334
有机质含量 (%)	<2.0	T0336

#### 4.7 V级再生材料技术要求

4.7.1 再生材料应具有一定级配，路堤填料粒径应不大于 150mm，路床及台背填料粒径应不大于 100mm。

4.7.2 再生材料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%。

4.7.3 再生材料用于抛石挤淤地基处理时，宜采用较大粒径，其中 300mm 粒径以上的石料含量不宜小于 80%，最大粒径根据淤泥层厚度确定。

4.7.4 再生材料用于粒料桩处理地基时，粒径宜为 20mm-50mm，再生混凝土颗粒含量应大于 55%。

#### 条文说明

根据广泛工程应用调研与现有研究成果，填筑路基的再生材料粒径一般较大，4.75 以上颗粒含量较多，基本上都可以满足《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610) 承载比要求，因此本规范仅对再生材料粒径提出要求。

4.7.5 V级再生材料技术要求应符合表 4.7.5 的规定。

表 4.7.5 V级再生材料技术要求

项目	技术要求	试验方法
轻质杂物含量 (%)	$\leq 1.0$	附录 A
易溶盐含量 (%)	$\leq 0.5$	T0153

#### 条文说明

经广泛调研与工程实践,考虑建筑垃圾中的杂物与易溶盐影响填筑路基的稳定性,提出轻质杂物含量与易溶盐含量技术要求。

## 5 建筑垃圾再生材料路基设计与施工

### 5.1 一般规定

5.1.1 地基处理应依据《公路工程地质勘察规范》(JTG C20)及《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31-02)进行勘察,根据地基岩土性质、物理力学参数和水文条件,结合地形、路基高度等进行设计。

5.1.2 用于地基处理及路基填筑中的建筑垃圾再生材料应符合 4.7 的技术要求。

5.1.3 再生材料使用前应抽样检测,相同料源、规格的材料作为同一批次取样检测,不同批次材料应分别取样,检测合格后方可使用。

5.1.4 再生集料可用于地基浅层处理、沉管桩、挤密桩等。

5.1.5 路床、路堤用再生材料应分层填筑、碾压。

### 5.2 地基处理

5.2.1 再生材料浅层处理应符合下列规定:

1 再生材料浅层处理可采用换填处理和抛石挤淤,适用于厚度小于 3.0m 的软土。

#### 条文说明

泥沼及软土厚度小于 3.0m 且位于水下时,因置换处理施工困难,抛石挤淤是经济、有效的处理方法,当软土厚度大于 3.0m 时慎用该处理方法。

2 换填处理厚度宜为 0.5m~3.0m,置换层应处理至路堤坡脚外不小于 1.0m。

3 抛石挤淤处理宽度,应处理至路堤坡脚外不小于 3.0m,且不小于软弱层的厚度。

4 换填处理压实要求,用 20t 以上压路机碾压至稳定无轮迹。

5 抛石挤淤应采用重型机具碾压稳定,并在其上设置厚度不小于 40cm 再生材料垫层,再分层填筑路堤。

### 5.2.2 再生材料沉管桩应符合下列规定：

- 1 再生材料沉管桩适用于处理厚度大于 3.0m 的淤积土（孔隙比介于 0.8~1.1 之间）及地下水位高的软黏土。
- 2 再生材料沉管桩的桩长、桩径、桩间距及承载能力,应按《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31-02) 确定。
- 3 再生材料沉管桩位于桥涵过渡段、挡墙或涵洞基础段时,宜在桩体材料中添加石屑及水泥,水泥剂量宜为 4.0%~6.0%。
- 4 再生材料沉管桩的处理宽度,应宽出路堤坡脚外不小于 2.0m。
- 5 再生材料沉管桩桩顶应铺设再生材料垫层,垫层厚度 40~60cm,最大粒径不大于 100mm,压实度不小于 93%。
- 6 再生材料沉管桩按下列要求进行工程质量检验：
  - 1) 成桩 30d 后,采用 (N<sub>63.5</sub>) 重型动力触探检测桩身密实度和桩长,抽检频率应为总桩数的 1.0%~2.0%,要求贯入量为 100mm 时,锤击次数不小于 5 击。
  - 2) 成桩 30d 后进行载荷试验,检测单桩承载力和复合地基承载力,抽检频率应为总桩数的 0.2%~0.5%,且不应少于 3 处,测定的承载力应达到设计要求。
  - 3) 其余项目质量检查及验收标准,应符合表 5.2.2 要求。

表 5.2.2 再生材料沉管桩质量检查及验收标准

检测项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
桩距 (mm)	±150	抽检 2%且不少于 5 点
桩径 (mm)	不小于设计值	抽检 2%且不少于 5 点
桩长 (m)	不小于设计值	查施工记录并结合重型动力触探检查
桩位偏差 (%)	±30 的桩径	100%
桩孔垂直度 (%)	±1	100%
粒料灌入率 (%)	不小于设计值	查施工记录

### 5.2.3 再生材料挤密桩应符合下列规定：

- 1 建筑垃圾再生材料挤密桩适用于黄土地区各等级公路不良地基处理,含水率大于 24%、饱和度大于 65%时,应通过试验确定其适用性。
- 2 用于挤密桩的再生材料应满足下列要求：
  - 1) 建筑垃圾再生材料挤密桩的填料应按照《公路路面基层施工技术细则》

(JTGF20)中无机结合料稳定材料进行配合比设计。

2) 填料的 7d 龄期无侧限抗压强度  $R_d$  不应低于 1.2MPa, 混合料的最大干密度和最佳含水率宜采用《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTGE51)中的击实方法确定。

3 建筑垃圾再生材料挤密桩施工的主要工序包括场地平整、土中成孔、桩孔夯填、质量检验等项。各工序应规范运作, 并应重视工序间的搭接与配合。

4 再生材料挤密桩施工过程中的质量检验按照表 5.2.3 执行。质量检验时, 关键项目应全部合格, 一般项目合格率应大于 90%。

表 5.2.3 再生材料挤密桩施工过程质量检验项目及标准

项目	检测项目	允许偏差或允许值	抽检频率	检验方法与说明	
关键项目	桩间土挤密系数	$\geq 0.90$	探井数应不少于总桩数的 0.3%, 且每项单体工程不少于 3 个。	探井取样, 处理深度范围内按 1m 分层取样检测	
	桩间土湿陷系数	符合设计要求	探井数应不少于总桩数的 0.3%, 且每项单体工程不少于 3 个。	探井按 1m 分层取样进行土工试验, 必要时可进行现场浸水静载荷试验(GB 50025)	
	桩体密实度	符合设计要求	1%~2%	采用重型或超重型动力触探试验(JGJ 340), 每 1m 试验一次	
	桩孔深度	符合设计要求		测量桩管入土长度或测量孔深	
	复合地基承载力	符合设计要求	单项工程总桩数的 0.2%~0.5%, 且每项单体工程不应少于 3 点。	静载荷试验(JGJ 340); 黄土地基施工完成 14 天后	
一般项目	桩位偏差	$\leq 5\%$ 的桩距	100%	现场用钢尺测量	
	桩孔垂直度(%)	$\leq 1.5$	100%	测桩管或桩孔垂直度	
	桩径	沉管法(mm)	-20	100%	用钢尺测量, 负值指局部断面
		冲击法或钻孔法(mm)	-40	100%	用钢尺测量, 负值指局部断面
注: 地基承载力抽检频率 0.2%~0.5%, 桩数 $\geq 6000$ 时取低值, 桩数 $\leq 1500$ 时取高值, 中间按内插法计算, 且每项单体工程不应少于 3 点。					

### 5.3 路基填筑

5.3.1 路基设计应符合下列规定：

1 再生材料用于填筑路堤时，压实度及承载比（CBR）应符合《公路路基设计规范》（JTG D30）有关规定。

2 再生材料路床顶面回弹模量不应低于现行《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）和《公路水泥混凝土路面设计规范》（JTG D40）的有关规定。

3 根据现行路面设计规范要求确定建筑垃圾回弹模量，并据此计算路基验收弯沉值。

4 建筑垃圾填筑路堤时，宜设置下封层，高度高出原地面 30~50cm，封层上第一层可采用建筑垃圾全宽摊铺，边坡宜采取 30~50cm 宽度种植土或粘土包边。

5.3.2 路基施工应符合下列规定：

1 再生材料填筑路基施工准备应按《公路路基施工技术规范》（JTG F10）要求执行。

2 运输过程中车辆应加盖篷布防止抛撒、扬尘。

#### 条文说明

再生填料吸水率较大，其最佳含水量较高，如表面水分蒸发过快，会影响路床的压实成型及强度。

3 布料及整平应符合下列规定：

1) 再生材料应均匀卸在灰线方格内，卸料后采用推土机初平，并配合人工捡除超大粒径骨料。初平后采用钢轮压路机进行稳压，然后采用平地机按照确定的松铺厚度进行精平。

2) 整平后应测定松铺厚度，不满足要求时应采用平地机继续整平，直至满足要求。

3) 整平后对局部大颗粒集中部位应由人工采用细料找平。

4 洒水闷料应符合下列规定：

1) 洒水前应测定再生材料的天然含水率，并通过试验确定的最佳含水率计

算所需补水量。

2) 洒水应均匀, 防止出现路基表面局部水分过多现象。应及时检测再生材料的含水率, 以保证其处于最佳含水率 $-1.0\% \sim +3.0\%$ 范围内。

3) 施工时如路基裸露时间长, 气温过高, 应适当进行补水。

5 碾压应符合下列规定:

1) 钢轮压路机宜选用自重不小于 20t, 羊足碾压路机宜选用自重不小于 22t。采用振动压路机施工时的适宜频率为 27Hz $\sim$ 35Hz, 振幅不少于 1.8mm, 碾压速度为 33m/min $\sim$ 67m/min。

2) 碾压按照先路边后中间、先轻后重、先慢后快和轮迹重叠的原则。压实路线纵向互相平行, 直线地段由边坡向路基中心碾压, 曲线路段由曲线内侧向外侧碾压。横向接头重叠 0.4m $\sim$ 0.5m, 前后相邻两区段间纵向重叠 2.0m $\sim$ 5.0m。

#### 条文说明

再生填料中常含有砖渣等易压碎物质, 与钢轮振动压路机相比, 胶轮压路机碾压能更有效地避免易压碎物质的压碎。如果以再生填料为主填筑路基、且再生填料中含有再生粗集料, 建议采用重型胶轮压路机来复压。

#### 条文说明

对于路堤施工, 应加强其材料的均匀性、表面的平整度控制; 再生填料与天然填料有较大的差异, 在施工组织、施工工艺、施工机具方面均有所不同, 应加以重视。

5.3.3 再生材料路基施工过程中压实度质量控制应符合表 5.3.3 的要求。

表 5.3.3 再生材料路基施工质量标准

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
碾压厚度 (cm)	$\leq 25$ 路床 $\leq 30$ 路堤		水准仪: 每 200m 测 4 个断面
压实度 (%)	$\geq 96$ 路床 $\geq 94$ 上路堤 $\geq 93$ 下路堤	$\geq 95$ 路床 $\geq 94$ 上路堤 $\geq 92$ 下路堤	灌砂法: 每 1000m <sup>2</sup> 至少测 2 点, 不足 1000m <sup>2</sup> 检验 2 点, 必要时可根据需要增加检测点

5.3.4 再生材料路基施工质量验收标准应符合表 5.3.4 的要求。

表 5.3.4 再生材料路基施工质量验收标准

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	
压实度 (%)	≥96	≥95	灌砂法: 每 200m 每压实层测 4 处
纵断高程 (mm)	+10, -20	+10, -30	水准仪: 每 200m 实测 2 个断面
中线偏位 (mm)	50	100	全站仪: 每 200m 测 2 点, 弯道加 HY、YH 两点
宽度 (mm)	满足设计标注		米尺: 每 200m 测 4 处
平整度 (mm)	≤20	≤30	3m 直尺: 每 200m 测 2 处×10 尺
弯沉 (0.01mm)	满足设计要求		贝克曼梁: 每 200m 测 10 处; FWD: 每一双车道评定路段 (不超过 1km), 测量检查 40 点
横坡 (%)	±0.3	±0.5	水准仪: 每 200m 测 2 个断面
边坡	坡度	不陡于设计值	
			水准仪: 每 200m 抽查 4 处

### 5.3.5 桥涵台背回填应符合下列规定:

- 1 台背地基处理应符合《公路路基施工规范》(JTG F10) 要求。
- 2 台背连接过渡段应符合《公路路基设计规范》(JTG D30) 相关规定, 台背连接过渡段填料应符合路床材料要求。
- 3 建筑垃圾再生材料台背回填分层填筑, 压实度应满足《公路路基施工规范》(JTG F10) 要求。

## 6 建筑垃圾再生集料路面设计与施工

### 6.1 一般规定

6.1.1 用于路面基层、底基层的建筑垃圾再生材料应符合第四章的要求。

#### 条文说明：

根据第四章“建筑垃圾再生材料应用范围与技术标准”表 4.2.1 中建筑垃圾再生材料应用范围，建筑垃圾再生材料分为五个等级。应用于路面基层、底基层时，应符合上述章节内规定的技术要求。

6.1.2 水泥、水泥粉煤灰、石灰粉煤灰等无机结合料可用于稳定建筑垃圾再生集料。

6.1.3 水泥、粉煤灰、石灰、水等其他原材料质量应符合《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20) 的相关要求。

6.1.4 无机结合料稳定建筑垃圾再生集料的最大干密度和最佳含水率，采用标准重型击实法或垂直振动成型法确定。

### 6.2 技术要求

6.2.1 高速公路、一级公路初步设计阶段、二级及二级以下公路设计弯拉强度和弹性模量参照表 6.2.1 或根据当地经验确定；

表 6.2.1 无机结合料稳定建筑垃圾再生集料弯拉强度和弹性模量取值范围 (MPa)

材料	弯拉强度	弹性模量
水泥稳定建筑垃圾再生材料	1.5~2.0	18000~28000
水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料		
石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料	0.9~1.5	14000~20000

注：结合料用量高，材料性能好，级配好或压实度大时取高值，反之取低值。

#### 条文说明：

根据《公路沥青路面设计规范 JTG D50-2017》“5.4.5 无机结合料稳定类材料弯拉强度和弹性模量”如果是高速公路和一级公路施工图设计阶段，即水平一，

则采用中间段法单轴压缩试验测定。弯拉强度和弹性模量的测定应符合现行《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG E51)中 T0851 的有关规定。测试水泥稳定类、水泥粉煤灰稳定类材料试件的龄期应为 90d, 石灰稳定类、石灰粉煤灰稳定类材料试件的龄期应为 180d。弯拉强度和弹性模量应取测试数据的平均值。

6.2.2 高速公路、一级公路施工图设计阶段, 建筑垃圾再生材料的弯拉强度和弹性模量采用中间段法单轴压缩试验测定。

### 6.3 水泥稳定建筑垃圾再生集料基层

6.3.1 水泥稳定建筑垃圾再生集料基层、底基层的级配应符合表 6.3.1 的规定。

表 6.3.1 水泥稳定建筑垃圾再生集料的级配要求

公路等级	通过以下筛孔 (mm) 百分率 (%)							
	37.5	31.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
高速公路、一级公路	100	90~100	56~70	35~46	24~32	15~25	8~16	3~6
二级公路及二级以下公路	100	90~100	65~80	45~60	30~50	19~36	8~19	2~7

#### 条文说明:

根据实地广泛调研, 内部专家评审会专家意见, 参考《公路路面基层施工技术规范》(JTG/T F20) 后, 认为基层、底基层采用同级配。根据现场试验验证情况底基层可在此级配基础上减少几档集料。

6.3.2 水泥稳定建筑垃圾再生集料技术要求应符合表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 水泥稳定建筑垃圾再生集料技术要求

结构层	公路等级	替代率 (%)	压实度 (%)	7d 饱水无侧限抗压强度 $R_a$ (MPa)	
				重型击实法	振动成型法
基层	高速公路、一级公路	$\leq 50$	$\geq 98$	4~6	6~8
	二级及二级以下公路	$\leq 70$	$\geq 97$	3~5	4~6
底基层	高速公路、一级公路	$\leq 80$	$\geq 97$	2.5~4.5	5~7
	二级及二级以下公路	$\leq 90$	$\geq 95$	2~4	3~5

条文说明：

根据实地调研，专家内部讨论，建筑垃圾再生集料等级较高、性能较好时，经现场试验充分验证，能够达到相应技术要求，掺配建筑垃圾再生材料的比例可适当高于本表的替代率。

### 6.4 水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生集料基层

6.4.1 水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料基层、底基层的再生材料的级配应符合表 6.4.1 的规定。

表 6.4.1 水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生集料级配

公路等级	通过以下筛孔 (mm) 百分率 (%)									
	37.5	31.5	26.5	19	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
高速公路、一级公路	—	100	100	80~90	65~78	53~67	35~45	22~31	8~15	2~5
二级及二级以下公路	100	90~100	81~94	67~83	54~73	45~64	30~50	19~36	8~19	2~7

6.4.2 水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生集料技术要求应符合表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生集料压实度和强度要求

结构层	公路等级	替代率 (%)	压实度 (%)	7d 饱水无侧限抗压强度 $R_d$ (MPa)	
				重型击实法	振动成型法
基层	高速公路、一级公路	$\leq 50$	$\geq 98$	3.5~4.5	4.0~6.0
	二级公路及二级以下公路	$\leq 70$	$\geq 97$	3.0~4.0	3.5~5.0
底基层	高速公路、一级公路	$\leq 80$	$\geq 97$	2.0~3.0	3.0~4.0
	二级公路及二级以下公路	$\leq 90$	$\geq 95$	1.5~2.5	2.0~3.0

6.4.3 水泥与粉煤灰的比例为 (1:3 ~ 1:5)，水泥粉煤灰与建筑垃圾再生材料的质量比例宜为 (15:85 ~ 20:80)。

## 6.5 石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生集料基层

6.5.1 石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料基层、底基层的再生材料的级配应符合表 6.5.1 的规定。

表 6.5.1 石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料级配要求

公路等级	通过以下筛孔 (mm) 百分率 (%)									
	37.5	31.5	26.5	19	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
高速公路、一级公路	—	100	100	80~90	65~78	53~67	35~45	22~31	8~15	2~5
二级公路及二级以下公路	100	90~100	81~94	67~83	54~73	45~64	30~50	19~36	8~19	2~7

6.5.2 石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料技术要求应符合表 6.5.2 的规定。

表 6.5.2 石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料压实度和强度要求

结构层	公路等级	替代率 (%)	压实度 (%)	7d 饱水无侧限抗压强度 $R_d$ (MPa)	
				重型击实法	振动成型法
基层	高速公路、一级公路	$\leq 50$	$\geq 98$	$\geq 1.0$	$\geq 1.8$
	二级公路及二级以下公路	$\leq 60$	$\geq 97$	$\geq 0.8$	$\geq 1.6$
底基层	高速公路、一级公路	$\leq 70$	$\geq 97$	$\geq 0.7$	$\geq 1.6$
	二级公路及二级以下公路	$\leq 80$	$\geq 95$	$\geq 0.6$	$\geq 1.4$

6.5.3 石灰粉煤灰稳定掺配建筑垃圾再生材料做基层、底基层时石灰与粉煤灰的比例为 (1:2~1:4)，石灰粉煤灰与建筑垃圾再生材料的比例应是 (15:85~20:80)。

#### 条文说明：

石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料用于基层、底基层中，石灰粉煤灰质量占混合料总质量的百分比宜为 15%，且不大于 20%。

## 6.6 施工

6.6.1 无机结合料稳定建筑垃圾再生材料基层施工期日最低气温不宜低于 5℃。

6.6.2 无机结合料稳定建筑垃圾再生材料宜采用稳定土拌和机集中厂拌生产。

6.6.3 雨季施工时，勿使混合料淋雨。降雨时应停止施工，对已摊铺的无机结合料稳定建筑垃圾再生材料尽快碾压密实并及时覆盖。

6.6.4 拌和前采用人工或自动喷洒设备进行洒水闷料，使水泥稳定和水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料含水率可比最佳含水量增加 0.5~1.5%，石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料含水率可比最佳含水量增加 1~2%。

#### 条文说明：

以配合比结果为依据，综合考虑施工过程气候条件，对水泥稳定或水泥粉煤

灰稳定建筑垃圾再生混合料的含水率可以适当增加 0.5~1.5%，石灰粉煤灰建筑垃圾再生混合料的含水率可增加 1~2%。

6.6.5 拌和后按规定取混合料试样抽查级配和水泥、石灰剂量，随时检查配比、含水率的变化。

6.6.6 拌和机出料配备带活门漏斗的料仓，由漏斗出料直接装车运输，装车时车辆前后移动，至少分三次装料，避免混合料离析。

6.6.7 运输车辆装料前应清洗干净车厢，装料后应覆盖，且在卸料过程中一直保持覆盖，以减少水分损失。

6.6.8 摊铺前适当洒水湿润底基层，对于下承层表面，应喷洒水泥净浆，水泥量  $0.6\sim 1.0\text{kg}/\text{m}^2$ ；水泥净浆洒布均匀，洒布长度不大于摊铺机前 30~40m。

6.6.9 摊铺前检查摊铺机各部分运转情况，调整好传感器臂与导向控制线的关系，严格控制基层厚度和高程，保证路拱横坡度满足设计要求。

6.6.10 混合料运输车多于 5 辆后，摊铺机开始连续摊铺，摊铺机螺旋布料器要有三分之二埋入混合料中，摊铺速度约为  $1.5\text{m}/\text{min}$ 。

6.6.11 摊铺完成后使用压路机在全幅范围内进行碾压，一次碾压长度 50~80m。碾压段落层次分明，设置明显的分界标志。

6.6.12 压路机碾压时重叠 1/2 轮宽，压路机碾压速度第 1~2 遍  $1.5\sim 1.7\text{km}/\text{h}$ ，以后各遍  $1.8\sim 2.2\text{km}/\text{h}$ ，直到达到要求的压实度，并没有明显的轮迹。

6.6.13 水泥稳定或水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料，宜在 2h 内完成碾压成型，石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料应在当天完成碾压，最迟不超过 4d。

6.6.14 碾压完成后采用先覆盖透水土工布洒水一遍再覆盖塑料薄膜的方式进行养生。整个养生期间保持无机结合料稳定建筑垃圾再生材料层表面湿润。

6.6.15 水泥稳定建筑垃圾再生材料基层养生期不少于 7d，水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料养生期不少于 10d，石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料养生期不少于 14d，养生完成后钻取完整芯样方能进行下一道工序。

#### 条文说明：

基层从碾压完成到铺筑上层结构层之前都属于养生期。7d、10d、14d 分别是水泥稳定建筑垃圾再生材料、水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料、石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料进行质量控制和检测的时间节点。

6.6.16 养生期间封闭交通，严格禁止洒水车外的其他车辆通行。

## 6.7 质量检查与验收

6.7.1 施工质量检查包括建筑垃圾材料检验、混合料检验和施工质量检查。

6.7.2 不同公路等级基层、底基层建筑垃圾再生材料相关检测项目、频度和质量控制指标如表 6.7.2。

表 6.7.2 建筑垃圾再生材料质量检测项目、频度和要求

名称	项目	频度				质量要求			
		高速公路、一级公路		二级公路及二级以下公路		高速公路、一级公路		二级公路及二级以下公路	
		基层	底基层	基层	底基层	基层	底基层	基层	底基层
建筑垃圾再生材料	含水率	每天拌合前测 2 个样品，发现异常随时检测				满足设计要求			
	级配								
	杂物含量 (%)	材料组成设计时测 2 样品； 批次发生变化时测 2 个样品； 发生异常时，随时检测。							
	混凝土块含量 (%)								
	压碎值 (%)								
	针片状含量 (%)								
	砂当量 (%)								
	0.075mm 以下材料的塑性指数								
	有机质含量 (%)								
	替代率 (%)	每天检测两次； 由拌合楼电子秤称重记录							
	混凝土颗粒含量	每批次测 2 样品；拌和前取样抽查							

注：不同等级建筑垃圾再生材料设计要求分别见表 4.3.3、表 4.4.2、表 4.5.2 和表 4.6.1。

6.7.3 水泥稳定和水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料在不同公路等级、不同层位下铺筑基层、底基层相关检测项目、频度和质量控制指标与标准如表 6.7.3。

表 6.7.3 水泥稳定和水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料质量检测项目、频度和要求

名称	项目	频度				质量要求			
		高速公路、一级公路		二级公路及二级以下公路		高速公路、一级公路		二级公路及二级以下公路	
		基层	底基层	基层	底基层	基层	底基层	基层	底基层
水泥稳定和水泥粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料	级配	每一作业段或不超过 2000m <sup>2</sup> 检查 1 次；异常时，随时检测							
	含水率	每一作业段或不超过 2000m <sup>2</sup> 检查 1 次；异常时，随时检测				5%~8% 最佳含水率+0.5%~1%			
	水泥剂量	每 2000m <sup>2</sup> 检查 1 次；至少 6 个样品				设计水泥剂量 0%~+0.5%			
	拌合均匀性	随时检查				色泽均匀，无离析现象			

6.7.4 石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料在不同公路等级、不同层位下铺筑基层、底基层相关检测项目、频度和质量控制标准如表 6.7.4。

表 6.7.4 石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料质量检测项目、频度和要求

名称	项目	频度				质量要求			
		高速公路、一级公路		二级公路及二级以下公路		高速公路、一级公路		二级公路及二级以下公路	
		基层	底基层	基层	底基层	基层	底基层	基层	底基层
石灰粉煤灰稳定建筑垃圾再生材料	级配	每一作业段或不超过 2000m <sup>2</sup> 检查 1 次；异常时，随时检测							
	含水率	每一作业段或不超过 2000m <sup>2</sup> 检查 1 次；异常时，随时检测				10%~14%			
	石灰剂量	每 2000m <sup>2</sup> 检查 1 次；至少 6 个样品				设计石灰剂量-1%			
	拌合均匀性	随时检查				色泽均匀，无离析现象			

6.7.5 无机结合料稳定建筑垃圾再生材料在不同公路等级、不同层位下铺筑基层、底基层施工质量控制指标如表 6.7.5。

表 6.7.5 无机结合料稳定建筑垃圾再生材料施工质量检测项目、频度和要求

名称	项目	频度				质量要求			
		高速公路、一级公路		二级公路及二级以下公路		高速公路、一级公路		二级公路及二级以下公路	
		基层	底基层	基层	底基层	基层	底基层	基层	底基层
施工质量	压实度检测	每作业段或 2000m <sup>2</sup> 测 6 次以上				98%	97%		
	强度检测	每一作业段或每过 2000m <sup>2</sup> 测一组 9 个~13 个试件				满足设计要求			

注：水泥稳定再生材料强度设计值见表 6.3.2，水泥粉煤灰稳定再生材料设计值见表 6.4.2，石灰粉煤灰稳定再生材料设计值见表 6.5.2。

6.7.6 无机结合料稳定建筑垃圾再生材料铺筑基层和底基层应按照《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80)的相关规定进行质量检验评定。

征求意见稿

## 7 建筑垃圾再生集料混凝土设计与施工

### 7.1 一般规定

7.1.1 建筑垃圾再生集料混凝土主要用于公路排水、防护工程及路缘石等附属设施。

7.1.2 再生集料宜配制 C40 以下强度等级的混凝土，试验方法应符合《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30) 规定。

7.1.3 建筑垃圾再生粗集料、细集料应符合本规范 4.3 中相关要求。

7.1.4 再生集料混凝土所用水泥、水、掺合物及外掺剂应符合《混凝土用水标准》(JGJ 63)、《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T1596)、《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T18046)、《高强高性能混凝土矿物外加剂》(GB/T18736)、《混凝土外加剂》(GB 8076) 及《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119) 相关规定。

7.1.5 再生集料混凝土宜采用绝对体积法进行配合比计算。

#### 条文说明

再生集料会增大混凝土的收缩，由此可增大预应力损失，同时再生集料混凝土吸水率等指标相对较高，因此，再生集料混凝土不宜用于预应力混凝土与具有防水要求的地下结构混凝土。如若用于受力构件，应根据具体试验确定。

### 7.2 技术要求

7.2.1 再生集料混凝土的拌合物性能、力学性能、长期性能和耐久性能、强度检验评定及耐久性检验评定应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的相关规定。

#### 条文说明

再生集料混凝土拌合物性能试验方法按现行国家标准《普通混凝土拌合物性

能试验方法标准》GB/T 50080 执行；力学性能试验方法及试件尺寸换算系数按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 执行；长期性能和耐久性能试验方法按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 执行；质量控制应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定；强度检验评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定；耐久性的检验评定应符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的规定。

7.2.2 建筑垃圾再生混凝土粗集料的级配应满足表 7.2.2 的要求。

表7.2.2 掺配建筑垃圾再生粗集料级配

公称粒径 mm		累计筛余 %							
		方孔筛筛孔边长 mm							
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5
连续 级配	5~16	95~100	85~100	30~60	0~10	0			
	5~20	95~100	90~100	40~80	--	0~10	0		
	5~25	95~100	90~100	--	30~70	--	0~5	0	
	5~31.5	95~100	90~100	70~90	--	15~45	--	0~5	0
单粒 级	5~10	95~100	80~100	0~15	0				
	10~20		95~100	85~100		0~15	0		
	16~31.5		95~100		85~100			0~10	0

7.2.3 用于公路排水、路缘石及防护的再生集料混凝土强度等级应符合表 7.2.3-1 的规定，其中用于路缘石的再生集料混凝土抗折强度等级应符合表 7.2.3-2。

表 7.2.3-1 排水、路缘石、防护结构用再生集料混凝土强度要求

构造物类型	最低强度等级		用途
	非冰冻区及轻冻区	中冻区及重冻区	
排水、防护	C20	C25	边沟及盖板、排水沟、护坡
路缘石	C30	C30	公路路缘石

注：轻冻区—冻结指数小于 800 的地区；中冻区—冻结指数 800~2000 的地区；重冻区—冻结指数大于

2000 的地区；

表 7.2.3-2 路缘石抗折强度要求 (MPa)

强度等级	C <sub>f</sub> 3.5	C <sub>f</sub> 4.0
平均值	≥3.50	≥4.00

注：其抗折强度试验方法参照附录 B。

### 条文说明

《公路路基设计规范》JTGD 30 中规定了排水、防护、支挡结构水泥混凝土的最低强度。同时《混凝土路缘石》JC/T 899 规定了路缘石的抗折强度及其测定方法。结合广泛调研及室内试验，规定了用于排水、路缘石、防护结构再生集料混凝土强度，以及路缘石的抗折强度。

7.2.4 接触除冰盐的再生集料混凝土路缘石，宜按除冰盐等其他氯化物环境进行耐久性设计，混凝土的抗氯离子侵入性指标并应满足表 7.2.4 的要求。

表 7.2.4 混凝土的抗氯离子侵入性技术要求

侵入性指标	公路等级	
	高速、一级	二级及以下
8d 龄期氯离子扩散系数 $D_{RCM}$ ( $10^{-12}m^2/s$ )	≤8	≤12

注：混凝土氯离子扩散系数  $D_{RCM}$  的测定方法参照《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTG/T B07-1。

## 7.3 配合比设计

7.3.1 再生集料混凝土抗压强度标准差应根据同品种、同强度等级的再生集料混凝土统计资料计算确定。其抗压强度标准差宜参考表 7.3.1 取值。

表 7.3.1 再生集料混凝土抗压强度标准差 (MPa)

强度等级	C20 及以下	C25、C30	C35
抗压强度标准差 $\sigma$ (MPa)	4.0	5.0	6.0

7.3.2 再生集料混凝土其强度推荐公式如下式所示，计算再生集料混凝土的水胶比。

$$f_{cu,0} = \alpha_a(\beta) f_b \left[ \frac{B}{W_a} - \alpha_a(\beta) \right] \quad (7.3.2-1)$$

$$\alpha_a(\beta) = 0.46 + 0.36\beta \quad (7.3.2-2)$$

$$\alpha_b(\beta) = 0.37 + 1.79\beta + 0.92\beta^2 \quad (7.3.2-3)$$

$$W_a = W - W_{1h} \quad (7.3.2-3)$$

式中：

$f_{cu,0}$ ——再生集料混凝土 28d 龄期的立方体抗压强度实测值，MPa

$f_b$ ——胶凝材料 28d 龄期的抗压强度实测值，MPa

$\frac{B}{W_a}$ ——再生集料混凝土胶水比，其中  $W_a$  为再生集料混凝土的净用水量，

kg

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

$\beta$ ——替代率

$W_a$ ——净水用量，kg

$W_{1h}$ ——再生粗集料 1h 吸水量，kg

### 7.3.3 配合比设计参数选择

1 再生建筑垃圾集料替代率应根据混凝土强度等级，通过试验确定。当缺乏技术资料时，再生集料取代率应符合表 7.3.3。

表 7.3.3 不同强度等级再生集料混凝土替代率选择

集料等级	一级 II 类及以上		一级 I 类	
	C20	C25	C30	C35
替代率 (%)	45	40	35	30

2 再生集料混凝土单位用水量由净用水量和附加用水量两部分组成。根据粗集料类型、最大粒径及再生集料混凝土和易性要求，应符合《普通混凝土配合比设计规程》的规定；附加用水量根据再生粗集料的 1h 吸水量确定，再生粗集料采用预湿饱和处理时，不考虑附加用水量。

3 混凝土外加剂掺量宜在仅使用天然粗集料混凝土外加剂掺量的基础上增

加 0.05%~0.3%。

7.3.4 再生集料混合料配合比设计的步骤应根据《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55) 进行。

## 7.4 施工

7.4.1 再生粗集料应选择专用的破碎设备, 采用反击破碎加工, 颗粒形状呈多面体。

7.4.2 再生集料混凝土预制构件应采用集中厂拌预制。

7.4.3 首次使用的再生集料混凝土配合比应进行开盘鉴定, 工作性和抗压强度符合要求后才能投入生产。

7.4.4 再生混凝土单方实际用水量由混凝土的净用水量、集料的吸水率共同确定, 在拌和前对原材料进行闷料处理, 工作性能应满足配合比设计要求。

7.4.5 再生集料混凝土拌合宜采用强制式搅拌机, 有条件时可采用振动搅拌, 搅拌时间不宜小于 180s, 且应搅拌均匀, 并符合和易性要求。随着再生集料掺量的增加应适当增加搅拌时间。

7.4.6 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。

7.4.7 再生混凝土的浇筑和养护拆模时间应不小于 24 小时。

7.4.8 再生集料混凝土宜采用有保温保湿的养护室养护, 没有养护室时, 必须采用覆盖喷水养护, 且不得在通风处养护。

### 条文说明

再生混凝土成型后, 相比普通混凝土应更加注意表面失水问题, 否则可能由于内外湿差等引起应力收缩, 致使表面混凝土产生裂缝。

## 7.5 质量检查与验收

7.5.1 施工质量验收应符合《混凝土质量控制标准》GB 50164、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的相关规定。

7.5.2 再生集料混凝土预制构件每批产品出厂均应对其外观质量、尺寸偏差、

强度等级进行出厂检验。

7.5.3 同一规格每 3000 块为一批，不足 3000 块亦为一批；当产品质量比较稳定时，可按 6000 块为一批进行质量检验。

7.5.4 外观检测应按照下表的规定执行。

表 7.5.4 外观质量的测量方法

项目	测量方法
缺棱掉角	测量顶面和正侧面缺棱掉角处损坏、掉角的长度和宽度(或高度)投影尺寸，精确至 1mm。
面层非贯穿裂纹 (表面裂纹)	测量裂纹所在面上的投影长度；若裂纹由一个面延伸至相邻面时，测量其延伸长度之和，精确至 1mm。
粘皮(脱皮)	测量顶面和正侧面上粘皮(脱皮)及表面缺损或伤痕处互相垂直的两个最大尺寸，精确至 1mm；计算其面积，精确至 1mm <sup>2</sup> 。
气孔	测量气孔处过中心互相垂直的两个尺寸，取平均值，精确至 1mm。
贯穿裂纹	在自然光照或不低于 40W 日光灯下，距预制构件 1.5m 处，对端面、背面(或底面)目测检验贯穿裂纹。
分层	在自然光照或不低于 40W 日光灯下，距预制构件 1.5m 处，对端面、背面(或底面)目测检验分层。
色差	目测 5 块表面风干的预制构件，检验色差。

注：量具采用分度值为 1mm 的钢板尺。

7.5.6 应用建筑垃圾再生集料混凝土的公路工程构造物施工过程质量控制指标及要求如表 7.5.6 所示。

表 7.5.6 再生集料混凝土构造物施工质量检验项目、频率及要求

名称	项目	允许偏差	检查方法及频率
护坡	再生混凝土强度	不小于设计强度	每 1 工作台班 2 组试件
	断面尺寸	不小于设计值	尺量：每 20m 量 2 个断面
排水工程	再生混凝土强度	不小于设计强度	每 1 工作台班 2 组试件
	断面尺寸	不小于设计值	尺量：每 20m 量 2 个断面
	铺砌厚度	不小于设计值	每处开挖检查不少于 1 个断面
路缘石	再生混凝土强度	不小于设计强度	每 1 工作台班 2 组试件
	断面尺寸	不小于设计值	尺量：每 20m 量 2 个断面

## 附录 A 再生混凝土颗粒含量及轻质杂物含量试验方法

### A.1 仪器和材料

试验用以下仪器和材料：

- a) 鼓风干燥箱：能使温度控制在  $(105 \pm 5)$  °C；
- b) 电子天平：称量 20kg，感量 0.1g；
- c) 方孔筛：孔径为 4.75mm 的筛一只；
- d) 铁铲、搪瓷盘、毛刷等。

### A.2 取样

A.2.1 试样的最小取样数量应符合表A.1的规定。混凝土颗粒含量与轻质杂物含量可采用同一组试样进行试验。

表 A.1 试验取样数量

再生材料最大粒径/mm	9.5	19.0	36.5	31.5	$\geq 37.5$
最少取样量/kg	20.0	40.0	40.0	60.0	60.0

### A.3 试样处理

按GB/T 14685 中规定的试验处理方法进行。

### A.4 试验步骤

A.4.1 按GB/T 14685规定的方法取样，将试样通过4.75mm方孔筛，取筛上部分进行试验将试样缩分至略大于表A.2规定的2倍数量。

A.2 试验所需试样数量

再生材料最大粒径/mm	9.5	19.0	31.5	$\geq 37.5$
最少试样量/kg	4.0	8.0	15.0	15.0

A.4.2 将缩分后的试样置于  $(105 \pm 5)$  °C 的干燥箱中烘干至恒量，冷却至室温后，分为大致相等的两份备用。

A.4.3 混凝土颗粒含量与轻质杂物含量试验应按如下步骤进行：

- b) 称量试样的质量  $m_1$ ，准确至 0.1g；
- b) 人工分选出试样中的混凝土块、石块，并称量其质量  $m_2$ ，准确至 0.1g。

- 
- c) 人工分选出试样中的塑料、木块、布片、纸屑、泡沫颗粒等轻质杂物，并称量各种杂物的总质量  $m_3$ ，准确至 0.1g；

## A.5 结果处理

A.5.1 分别按公式 (A.1) 和公式 (A.2) 计算再生材料中混凝土颗粒与轻质杂物占试样总质量的百分比，精确至0.01%：

$$Q_a = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \dots\dots\dots (A.1)$$

$$Q_b = \frac{m_3}{m_1} \times 100 \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$Q_a$ ——混凝土颗粒含量 (%)；

$Q_b$ ——轻质杂物含量 (%)；

A.5.2 平行试验进行2次，试验结果取两次试验的算术平均值，精确至0.01%。

## 附录 B 再生混合料用于路缘石抗折强度试验方法

### B.1 试样数量

试样数量为3个

### B.2 试验设备、量具、材料

#### B.2.1 试验机

试验机的示值相对误差应不大于1%试样的预期破坏荷载值为试验机全量程的20%~80%。

#### B.2.2 加载压块

采用厚度大于20mm，直径为50mm，硬度大于HB200，表面平整光滑的圆形钢块。

#### B.2.3 抗折试验支承装置

抗折试验支承装置应可自由调节试样处于水平。同时可调节支座间距，精确至1mm。支承装置两端支座上的支杆直径为30mm，一为滚动支杆，一为铰支杆；支杆长度应大于试样的宽度( $b_0$ )，且应互相平行。

#### B.2.4 量具

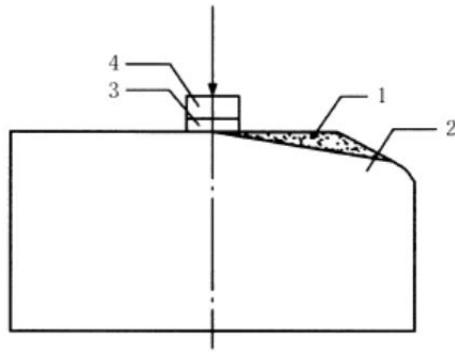
分度值为1mm，量程为1000mm、300mm钢板尺。

#### B.2.5 找平垫板

垫板厚度为3mm，直径大于50mm的胶合板。

### B.3 试样制备

在试样的正侧面标定出试验跨距，以跨中试样宽度( $b_0$ )1/2处为施加荷载的部位，如试样正侧面为斜面、切削角面、圆弧面，试验时加载压块不能与试样完全水平吻合接触，应用水泥净浆或其他找平材料将加载压块所处部位抹平使之试验时可均匀受力，抹平处理后试样，养护3d后方可试验。试样制备图见图B.1。



说明:

- |          |          |
|----------|----------|
| 1——找平层;  | 2——试样;   |
| 3——找平垫板; | 4——找平垫板; |

图 B.1 试样制备图

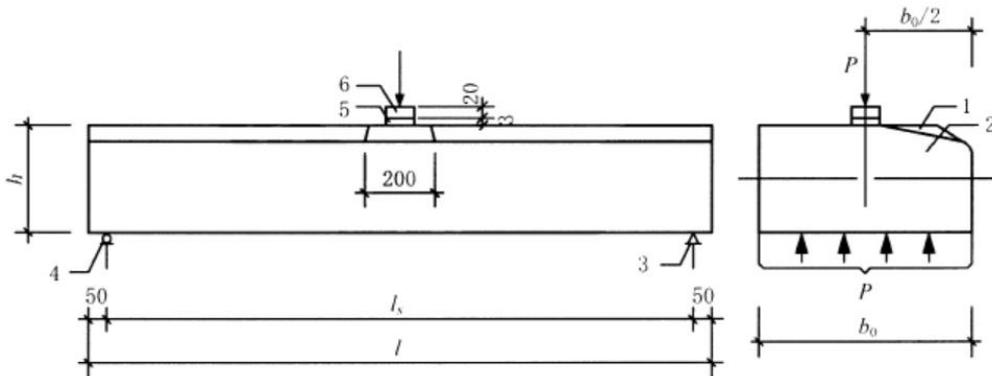
#### B.4 试样的含湿状态

将制备好的试样,用硬毛刷将试样表面及周边松动的渣粒清除干净,在温度为 $(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$ 的水中浸泡 $(24\pm 0.5)\text{h}$ 。

#### B.5 试验步骤

B.5.1 使抗折试验支承装置处于可进行试验状态。调整试验跨距 $l_s=l-2\times 50\text{mm}$ ,精确至1mm。

B.5.1 将试样从水中取出,用拧干的湿毛巾擦去表面附着水,正侧面朝上置于试验支座上,试样的长度方向与支杆垂直,使试样加载中心与试验机压头同心。将加载压块置于试样加载位置,并在其与试样之间垫上找平垫板。如图 B.2。



说明:

- |         |        |
|---------|--------|
| 1——找平层; | 2——试样; |
|---------|--------|

- 3——铰支座；  
4——滚动支座；  
5——找平垫板；  
6——加载压块；

图 B.2 抗折试验加载图

B.5.3 混凝土颗粒含量与轻质杂物含量试验应按如下步骤进行：启动试验机，调节加荷速度 0.04MPa/s~0.06MPa/s 匀速连续地加荷，直至试样断裂，记录最大荷载( $P_{max}$ )。

### B.6 试验结果计算

抗折强度按公式(B.1)计算：

$$\left. \begin{aligned} C_f &= \frac{MB}{1000 \times W_{fr}} \\ MB &= \frac{P_{max} \cdot l_s}{4} \end{aligned} \right\} \text{(B.1)}$$

式中：

$C_f$ ——试样抗折强度，单位为兆帕(MPa)；

$MB$ ——弯矩，单位为牛顿毫米(N·m)；

$W_{fr}$ ——截面模量，单位为立方厘米(cm<sup>3</sup>)；

$P_{max}$ ——试样破坏荷载，单位为牛顿(N)；

$l_s$ ——试样跨距，单位为毫米(mm)；

试验结果以三个试样抗折强度的算术平均值和单件最小值表示，计算结果精确至 0.01MPa。