

ISC 93.080.20

Q 20

DB4110

许 昌 市 地 方 标 准

DB 4110/ T 6—2020

建筑垃圾再生集料道路基层应用 技术规范

2020 - 04 - 01 发布

2020 - 04 - 10 实施

许昌市市场监督管理局

发 布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和符号	1
3.1 术语	1
3.2 符号	2
4 基本规定	3
5 建筑垃圾再生集料	3
6 无机结合料稳定再生集料配合比设计	5
6.1 原材料	5
6.2 水泥稳定再生集料组成设计	6
6.3 石灰粉煤灰稳定再生集料组成设计	8
6.4 水泥粉煤灰稳定再生集料组成设计	10
7 结构与组合	12
7.1 一般规定	12
7.2 结构设计及组合	12
8 施工	12
8.1 一般规定	13
8.2 拌和	13
8.3 运输	13
8.4 摊铺	13
8.5 碾压	14
8.6 养护	14
9 验收	14
9.1 主控项目	15
9.2 一般项目	15
9.3 工程质量验收	15
附录 A (规范性附录) 再生混凝土颗粒含量与杂物含量试验方法	17
参考文献	18

前 言

本标准按GB/1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》规则进行编写。

本标准由许昌市住房和城乡建设局提出并归口。

本标准起草单位：许昌金科资源再生股份有限公司、郑州腾飞建设工程集团有限公司、河南万里交通科技集团股份有限公司、许昌华杰公路勘察设计有限责任公司、许昌市规划设计院、许昌市市政实业集团有限公司、许昌市住房和城乡建设局。

本标准主要起草人：李建民、李福安、高琦、许铭磊、何光献、牛小虎、何炜、姜军凯、陈朝辉、陈功宝、贾昊、赵凯杰、王军、秦培、吕瑞品、王晓永。

引 言

“无废城市”建设试点是党中央国务院在打好污染防治攻坚战，决胜全面建成小康社会关键时期作出的重大改革部署。许昌市作为全国首批试点城市之一，深入贯彻落实党中央国务院要求，积极探索可复制、可推广的“无废城市”建设经验。根据国办发[2018]128号文件的要求，许昌市住房和城乡建设局经市场调研后发现，建筑垃圾再生集料可用于道路基层，而本省又无建筑垃圾在道路基层方面运用的标准。结合许昌振动搅拌的技术优势（搅拌更均匀的同时降低工程成本），以提高建筑垃圾应用范围及消纳能力为目的，特编制该标准使建筑垃圾能用于道路基层；同时填补了建筑垃圾在道路应用中的省内地方标准空白。

建筑垃圾再生集料道路基层应用技术规范

1 范围

本标准规定了建筑垃圾再生集料在道路基层应用中的术语、定义和符号，基本要求，性能要求，配合比设计要求，结构设计与组合，施工和验收等要求。

本标准适用于新建、改建、扩建、大中修城镇道路以及广场、园路、停车场路面的基层或底基层的设计、施工和质量检验与验收，公路工程可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的，凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件，凡是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 3838-2002 地表水环境质量标准
- GB 5085.3-2007 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
- GB/T 14684-2011 建设用砂
- GB/T 14685-2011 建筑用鹅卵石、碎石
- CJJ/T 188-2012 透水砖路面技术规程
- JGJ 63-2006 混凝土用水标准
- JTG E40-2007 公路土工试验规程
- JTG E42-2005 公路工程集料试验规程
- JTG E51-2009 公路工程无机结合料稳定材料试验规程
- JTG F80/ 1-2017 公路工程质量检验评定标准

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

建筑垃圾

新建、改（扩）建、拆除各类建（构）筑物、管网、道桥以及房屋装饰装修过程中产生的废弃物，主要包括工程渣土、废弃泥浆、工程垃圾、拆除垃圾和装修垃圾。

3.1.2

再生集料

以废砖瓦、废弃砂浆、废混凝土块、废石块为主要成分的建筑垃圾，经过机械破碎、分拣、筛分等工艺，分离除去金属、轻物质等杂物后，加工成的集料。

3.1.3

再生粗集料

粒径大于4.75 mm的再生集料。

3.1.4

再生细集料

粒径不大于4.75 mm的再生集料。

3.1.5

再生级配集料

全部使用或部分掺用了再生集料,且不同粒径的集料按一定比例混合,级配满足一定要求的混合料。

3.1.6

无机结合料稳定再生集料

再生级配集料中,掺入适量的一种或几种无机结合料和水,经拌和均匀得到的混合料,当其经压实及养生后的抗压强度符合规定要求的集料。

3.1.7

水泥稳定再生级配集料

再生级配集料中,掺入适量的水泥和水,经拌和均匀得到的混合料,当其经压实及养生后的抗压强度符合规定要求的集料。

3.1.8

石灰粉煤灰稳定再生级配集料

再生级配集料中,掺入适量的石灰、粉煤灰和水,经拌和均匀得到的混合料,当其经压实及养生后的抗压强度符合规定要求的集料。

3.1.9

水泥粉煤灰稳定再生集料

再生级配集料中,掺入适量的水泥、粉煤灰和水,经拌和均匀得到的混合料,当其经压实及养生后的抗压强度符合规定要求的集料。

3.1.10

再生混凝土颗粒含量

再生粗集料中,混凝土块及石块类材料所占的质量百分比。

3.1.11

杂物

建筑垃圾中除混凝土、砂浆、砖、瓦、石之外的其他物质。

3.1.12

轻物质

砂中相对密度小于2000 kg/m³的物质。

3.1.13

稳定土振动搅拌机

在搅拌装置振动作用下搅拌稳定土的搅拌机。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

- S ——单组试验结果的标准差;
- \bar{R} ——7d无侧限抗压强度试验平均值;
- R_d ——7d无侧限抗压强度设计值;
- Q_a ——再生粗集料中混凝土颗粒含量;
- Q_b ——再生粗集料中杂物含量;

- E ——材料的抗压回弹模量；
 Z_{α} ——标准正态分布表中随保证率（或置信度 α ）而变的系数；
 C_v ——变异系数；
 B ——材料的劈裂强度；
 ω ——含水率，以混合料中所含水分质量占干混合料质量的百分数表示；
 ω_0 ——最佳含水率。

4 一般要求

- 4.1 建筑垃圾再生集料在道路基层或底基层中的设计、施工及质量验收，除应符合本标准外，尚应符合国家和地方现行有关标准、规范的规定以及国家和本地区生态环保的政策和法规。
- 4.2 无机结合料稳定再生集料适用于重交通及以下道路的基层、底基层。
- 4.3 无机结合料稳定再生集料用作道路的基层时，应做表面处治。
- 4.4 路面结构设计时，应按照 JTG E51-2009 规定的方法，根据设计配合比，选取工程用各种原材料制件，测定设计参数（水泥稳定再生集料龄期为 90 d，石灰粉煤灰稳定再生集料龄期为 180 d，水泥粉煤灰稳定再生集料龄期为 120 d）。
- 4.5 在雨期施工无机结合料稳定再生集料，不应使其受雨淋湿。降雨时应停止施工，已经摊铺的应碾压密实。
- 4.6 无机结合料稳定再生集料宜采用集中厂拌法施工，拌和设备宜采用稳定土振动搅拌机。
- 4.7 无机结合料稳定再生集料宜在进入冬期前（30~45）d 停止施工，不应在冬期施工。水泥稳定土（粒料）类基层，宜在进入冬期前（15~30）d 停止施工。当上述材料养护期进入冬期时，应在基层施工时向基层材料中掺入防冻剂。
- 4.8 本标准采用重型击实试验方法作为确定基层、底基层材料的最佳含水率和最大干密度的标准试验方法。
- 4.9 本标准采用干筛法作为确定再生集料级配的标准试验方法。
- 4.10 人行道、园路、广场、停车场及步行街道等透水道路基层参照 CJJ/T 188-2012 执行。

5 再生集料要求

- 5.1 被污染或腐蚀的建筑垃圾不得用于制备再生集料。
- 5.2 建筑垃圾回收堆放时，应按不同来源，不同批次分层堆放，应采取必要手段使回收的建筑垃圾充分混合，减小材料的变异性。
- 5.3 再生集料加工过程中，应去除杂物。
- 5.4 堆存的建筑垃圾在破碎加工过程中应采取措施避免扬尘。
- 5.5 再生粗集料的规格应符合表 1 的规定。
- 5.6 再生细集料的规格应符合表 2 的规定。
- 5.7 再生集料按性能指标可分为 I 级和 II 级，其主要性能指标应符合表 3 的规定。

表1 粗集料规格要求

规格名称	工程粒径 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)									公称粒径 (mm)
		53	37.5	31.5	26.5	19.0	13.2	9.5	4.75	2.36	
G1	20~40	100	90~100	-	-	0~10	0~5	-	-	-	19~37.5
G2	20~30	-	100	90~100	-	0~10	0~5	-	-	-	19~31.5
G3	20~25	-	-	100	90~100	0~10	0~5	-	-	-	19~26.5
G4	15~25	-	-	100	90~100	-	0~10	0~5	-	-	13.2~26.5
G5	15~20	-	-	-	100	90~100	0~10	0~5	-	-	13.2~19
G6	10~30	-	100	90~100	-	-	-	0~10	0~5	-	9.5~31.5
G7	10~25	-	-	100	90~100	-	-	0~10	0~5	-	9.5~26.5
G8	10~20	-	-	-	100	90~100	-	0~10	0~5	-	9.5~19
G9	10~15	-	-	-	-	100	90~100	0~10	0~5	-	9.5~13.2
G10	5~15	-	-	-	-	100	90~100	40~70	0~10	0~5	4.75~13.2
G11	5~10	-	-	-	-	-	100	90~100	0~10	0~5	4.75~9.5

表2 细集料规格要求

规格名称	工程粒径 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)								公称粒径 (mm)
		9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
G1	3~5	100	90~100	0~15	0~5	-	-	-	-	2.36~4.75
G2	0~3	-	100	90~100	-	-	-	-	0~15	0~2.36
G3	0~5	100	90~100	-	-	-	-	-	0~20	0~4.75

表3 道路基层用建筑垃圾再生集料性能要求

项目		等级		检验方法
		I	II	
再生粗集料	压碎值 (%)	≤30	≤40	JTG E42-2005 的 T0316
	再生混凝土颗粒含量 (%)	≥90	≥30	附录 A
	含泥量 (%)	<1.0	<3.0	JTG E42-2005 的 T0310
	针片状颗粒含量 (%)	<10		JTG E42-2005 的 T0312
	杂物含量 (%)	<0.5	<1.0	附录 A
再生细集料	压碎值 (%)	≤30	≤40	JTG E42-2005 的 T0350
	轻物质含量 (%)	<1.0		JTG E42-2005 的 t0338

表 3 道路基层用建筑垃圾再生集料性能要求（续）

项目		等级		检验方法
		I	II	
再生细集料	泥块含量（%）	<2.0	<3.0	GB/T14684-2011
	液限 a（%）	≤50		TG E40-2007 的 T0118
	塑性指数 a	≤26		JTG E40-2007 的 T0118
	三氧化硫含量（%）	≤0.8		JTG E42-2005 的 T0313
	有机质含量	合格		JTG E42-2005 的 T0336
再生粗、细集料	浸出液成分	应符合 GB 3838-2002 中 IV 类限值的规定		GB/T5085.3-2007

^a应测定 0.075 mm 以下材料的液限、塑性指数。

6 无机结合料稳定再生集料配合比设计要求

6.1 原材料

6.1.1 再生集料

6.1.1.1 再生集料应符合本标准第 5 章的规定，再生级配集料的颗粒组成，应按其级配状况进行掺配调整，以达到级配要求。

6.1.1.2 I 级再生集料可用于重、中交通和轻交通等级道路的基层和各交通等级道路的底基层；II 级再生集料可用于各交通等级道路的底基层以及轻交通道路基层。

6.1.2 水泥

6.1.2.1 应选用初凝时间大于 3 h、终凝时间大于 6 h 且小于 10 h 的 42.5 级普通硅酸盐水泥、矿渣 硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥。

6.1.2.2 水泥应有出厂合格证与生产日期，复检合格方可使用。

6.1.2.3 水泥贮存期超过 3 个月或受潮，应进行复检，合格后方可使用。

6.1.3 粉煤灰

6.1.3.1 粉煤灰中的 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 总量宜大于 70 %，在温度为 700 °C 时的烧失量不大于 10 %。

6.1.3.2 当烧失量大于 10 % 时，应经试验确认混合料强度符合要求时，方可使用。

6.1.3.3 细度应满足通过 0.3 mm 筛孔的筛余量不大于 10 %，通过 0.075 mm 筛孔的筛余量不大于 30 % 比表面积宜大于 2500 cm^2/g 。

6.1.3.4 干粉煤灰和湿粉煤灰都可使用，湿粉煤灰的含水率不宜超过 35 %。场地集中堆放的粉煤灰应予以覆盖，运到现场的粉煤灰应含有一定的水分，防止扬尘，使用时应将凝结成块的粉煤灰块打碎或过筛，粉煤灰中不得含有树根、杂草等杂质。

6.1.4 石灰

6.1.4.1 宜用 I ~ III 级石灰，其技术指标应符合表 4 的规定。

6.1.4.2 块石灰在使用前（7~10）d 完成消解，未能消解的生石灰块应筛除，消解石灰的粒径不得大于 10 mm，磨细生石灰，可不经消解直接使用。

6.1.4.3 对储存较久或经过雨期的消解石灰应先经过试验，根据活性氧化物的含量决定能否使用和使用方法。

6.1.4.4 应尽量缩短石灰的存放时间，如石灰在野外堆放时间较长时，应覆盖防潮。

6.1.4.5 使用等外石灰时，混合料强度应符合设计要求。

表4 石灰的技术指标

项目	钙质生石灰			镁质生石灰			钙质消石灰			镁质消石灰		
	等级											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
有效钙加氧化镁含量 (%)	≥ 85	≥ 80	≥ 70	≥ 80	≥ 75	≥ 65	≥ 65	≥ 60	≥ 55	≥ 60	≥ 55	≥ 50
未消化残渣含量 (5 mm圆孔筛的筛余 %)	≤ 7	≤ 11	≤ 17	≤ 10	≤ 14	≤ 20	-	-	-	-	-	-
含水率 (%)	-	-	-	-	-	-	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4
细度	0.71 mm方孔筛的筛余 (%)	-	-	-	-	-	0	≤1	≤1	0	≤1	≤1
	0.125 mm方孔筛的筛余 (%)	-	-	-	-	-	≤ 13	≤ 13	-	≤ 13	≤ 13	-
钙镁石灰的分类界限, 氧化镁含量 (%)	≤5			>5			≤4			>4		
注: 硅、铝、镁氧化物含量之和大于5%的生石灰, 有效钙加氧化镁含量指标, I等≥75%, II等≥75%, III等≥75%; 未消化残渣含量指标与镁质生石灰指标相同。												

6.1.5 水

水应符合行业标准 JGJ 63-2006 的规定。宜使用饮用水及不含油类等杂质的清洁中性水, pH 值宜为 6~8。

6.2 水泥稳定再生集料组成设计

6.2.1 一般规定

6.2.1.1 水泥稳定再生级配集料中水泥剂量以水泥质量占全部再生级配集料干质量的百分率表示。

6.2.1.2 水泥稳定再生集料 7 d 无侧限抗压强度代表值应符合表 5 的规定。

表5 水泥稳定再生集料 7d 无侧限抗压强度标准 (MPa)

结构层	道路等级	重、中交通	轻交通
基层	城市道路, 二级以下公路	3.0~4.0	2.5~3.5
底基层		≥2.0	≥1.5
注1: 非机动车道、人行道、园路、停车场、广场及步行街路面结构应按轻交通确定。 注2: 水泥稳定再生集料用于重、中交通等级道路基层时, 其 7d 无侧限抗压强度值不宜大于 4.0 MPa。 注3: 水泥稳定再生集料的组成设计, 应根据表 5 的强度标准, 通过试验确定合适的水泥剂量、混合料的最佳含水率和最大干密度。 注4: 水泥稳定再生集料的水泥剂量一般为 (3~6)%, 当达不到强度要求时应调整级配, 水泥的最大剂量不应超过 7%。			

6.2.1.3 水泥稳定再生级配集料中水泥的比例宜符合表 6 的规定。

6.2.1.4 水泥稳定再生级配集料级配范围宜符合表 7 的规定。

表6 水泥稳定再生级配集料水泥剂量要求

骨料等级	结构部位	水泥掺量 (%)
		城市道路, 二级及以下公路
I	基层	4~6
	底基层	3~4
II	基层	4~6
	底基层	3~5

表7 水泥稳定再生级配集料的集料级配范围 (%)

筛孔尺寸 (mm)	城市快速路, 主干路			其他等级城市道路, 二级及以下公路		
	C-B-1	C-B-2	C-B-3	C-C-1	C-C-2	C-C-3
37.5	-	-	-	100	-	-
31.5	-	-	100	100~90	100	-
26.5	100	-	-	94~81	100~90	100
19.0	86~82	100	86~68	83~67	87~73	100~90
16.0	79~73	93~98	-	78~61	82~65	92~79
13.2	72~65	86~76	-	73~54	75~58	86~67
9.5	62~53	72~59	58~38	64~45	66~47	71~52
4.75	45~35	45~35	32~22	50~30	50~30	50~30
2.36	31~22	32~22	28~16	36~19	36~19	36~19
1.18	22~13	22~13	-	26~12	26~12	26~12
0.6	15~8	15~8	15~8	19~8	19~8	19~8
0.3	10~5	10~5	-	14~5	14~5	14~5
0.15	7~3	7~3	-	10~3	10~3	10~3
0.075	3~2	5~2	3~0	7~2	7~2	7~2

6.2.2 原材料试验

6.2.2.1 在水泥稳定再生集料结构层施工前, 应取所定料场中有代表性的再生集料, 按照 JTG E40-2007 和 JTG E42-2005 的规定进行下列试验:

- a) 颗粒分析;
- b) 0.6 mm 以下粒径颗粒的液限、塑性指数;
- c) 压碎值;
- d) 针片状颗粒含量;
- e) 再生粗集料中混凝土颗粒含量;
- f) 杂物含量。

6.2.2.2 水泥应符合 6.1.5 的规定。

6.2.3 混合料的设计步骤

6.2.3.1 如再生集料的级配不能满足要求, 可通过掺加天然集料, 使其级配符合表 7 的规定。

6.2.3.2 试配时水泥剂量宜按 3%、4%、5%、6%、7% 选取, 在能估计合适剂量的情况下, 可以将五个不同剂量缩减到三个或四个。

- 6.2.3.3 确定各水泥剂量混合料的最佳含水率和最大干密度，至少应做三个不同水泥剂量混合料的击实试验，即最小剂量、中间剂量和最大剂量。其他两个水泥剂量混合料的最佳含水率和最大干密度用内插法确定。
- 6.2.3.4 按规定达到的压实度，分别计算不同水泥剂量时水泥稳定再生集料试件应有的干密度。
- 6.2.3.5 按最佳含水率和计算得到的干密度制备试件。进行无侧限抗压强度试验时，其试件数量应满足 JTG E51-2009 中 T0843 给出的要求。
- 6.2.3.6 试件在规定温度下保湿养生 6 d，浸水 24 h 后，按 JTG E51-2009 中 T0805 的规定进行无侧限抗压强度试验。
- 6.2.3.7 计算试验结果的平均值和变异系数。
- 6.2.3.8 根据表 5 中的强度标准，选定合适的水泥剂量，此水泥剂量试件室内试验结果的平均抗压强度 \bar{R} 应符合公式(1)：

$$\bar{R} \geq \frac{R_d}{1 - Z_a C_v} \dots\dots\dots (1)$$

式中；

R_d ——设计抗压强度，MPa；

C_v ——试验结果的变异系数，以小数计；

Z_a ——标准正态分布表中随保证率(或置信度 α)而变的系数，轻交通等级道路应取保证率90%，即 $Z_a=1.282$ ；其他交通等级道路应取保证率95%，即 $Z_a=1.645$ 。

6.3 石灰粉煤灰稳定再生集料组成设计

6.3.1 一般规定

- 6.3.1.1 石灰粉煤灰稳定再生集料采用质量配合比计算，以石灰、粉煤灰、再生级配集料的质量比表示。
- 6.3.1.2 石灰粉煤灰稳定再生集料的 7 d 无侧限抗压强度代表值应符合表 8 的规定。

表8 石灰粉煤灰稳定再生级配集料 7d 无侧限抗压强度 (MPa)

结构层	道路等级	重交通、中	轻交通
基层	城市道路、二级及以下公路	≥0.8	≥0.6
底基层		≥0.6	≥0.5
注：非机动车道、园路、停车场及步行街路面结构应按轻交通确定。			

- 6.3.1.3 石灰粉煤灰稳定再生集料的组成设计，应根据表 8 的强度标准，通过试验确定石灰与粉煤灰的比例、石灰粉煤灰与再生级配集料的比例，以及混合料的最佳含水率和最大干密度。
- 6.3.1.4 采用石灰粉煤灰稳定再生集料做基层或底基层时，石灰与粉煤灰的比例可用(1:2~1:4)，石灰粉煤灰与再生级配集料的比例应是(15:85~20:80)。对于 CaO 含量(2%~6%)的硅铝粉煤灰，石灰与粉煤灰的比例可以是(1:2~1:9)。
- 6.3.1.5 石灰粉煤灰稳定再生级配集料的级配宜符合表 9 的要求，并符合下列规定：
 - a) 用于城市快速路、主干路底基层时，各档被稳定材料总质量宜不小于 80%，级配宜符合表 9 中 LF-A-1S 的规定；
 - b) 用于其他等级城市道路和二级及以下公路基层时，被稳定材料的公称最大粒径应不大于 31.5 mm，其总质量宜不小于 80%，级配宜符合表 9 中 LF-B-2S 的规定；
 - c) 用于其他等级城市道路和公路底基层时，各档被稳定材料总质量宜不小 70%，级配宜

符合表 9 中 LF-B-1S 的规定。

表9 石灰粉煤灰稳定再生级配集料的集料级配范围 (%)

筛孔尺寸 (mm)	城市快速路, 主干路	其他等级城市道路, 二级及以下公路	
	LF-A-1S	LF-B-1S	LF-B-2S
37.5	-	100	-
31.5	100	100~90	100
26.5	95~91	94~81	100~90
19.0	85~76	83~67	87~73
16.0	80~69	78~61	82~65
13.2	75~62	73~54	75~58
9.5	65~51	64~45	66~47
4.75	45~35	50~30	50~30
2.36	31~22	36~19	36~19
1.18	22~13	26~12	26~12
0.6	15~8	19~8	19~8
0.3	10~5	-	-
0.15	7~3	-	-
0.075	5~2	7~2	7~2

6.3.2 原材料试验

6.3.2.1 在石灰粉煤灰稳定再生集料施工前, 应取有代表性的再生集料按照行业标准 JTG E40-2007 和 JTG E42-2005 的规定进行下列试验:

- a) 颗粒分析;
- b) 0.6 mm 以下粒径颗粒的液限、塑性指数;
- c) 压碎值;
- d) 针片状颗粒含量;
- e) 再生粗集料中混凝土颗粒含量;
- f) 杂物含量。

6.3.2.2 石灰应符合 6.1.3 的规定。

6.3.2.3 粉煤灰应符合 6.1.4 的规定。

6.3.3 混合料的设计步骤

6.3.3.1 如再生集料的级配不能满足要求, 可通过掺加天然集料, 使其级配宜符合表 9 的规定。

6.3.3.2 制备不同比例的石灰粉煤灰混合料, 确定其各自的最佳含水率和最大干密度, 确定同一龄期和同一压实度试件的抗压强度, 选用强度最大时的石灰粉煤灰比例。

6.3.3.3 根据上条所得到的石灰粉煤灰比例, 制备同一种试样的 (3~5) 种不同配合比的石灰粉煤灰稳定再生集料。其配合比宜符合 6.3.1.4 的规定。

6.3.3.4 确定不同配合比石灰粉煤灰稳定再生集料的最佳含水率和最大干密度。

6.3.3.5 按规定达到的压实度, 分别计算不同配合比时石灰粉煤灰稳定再生集料试件应有的干密度。

6.3.3.6 按最佳含水率和计算得到的干密度制备试件进行无侧限抗压强度试验时, 其试件数量应满足 JTG E51-2009 中 T0843 给出的要求。

6.3.3.7 试件在规定温度下保湿养生 6 d，浸水 24 h 后，按 JTG E51-2009 中 T0805 的规定进行无侧限抗压强度试验。

6.3.3.8 计算试验结果的平均值和变异系数。

6.3.3.9 根据表 8 中的强度标准，选定混合料的配合比，在此配合比下试件室内试验结果的平均抗压强度 \bar{R} 应符合公式 (2)：

$$\bar{R} \geq \frac{R_d}{1 - Z_a C_v} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

R_d ——设计抗压强度，MPa；

C_v ——试验结果的变异系数（以小数计）；

Z_a ——标准正态分布表中随保证率(或置信度 α)而变的系数，轻交通等级道路应取保证率90%，即 $Z_a=1.282$ ；其他交通等级道路应取保证率95%，即 $Z_a=1.645$ 。

6.3.3.10 当工程需要提高石灰粉煤灰再生级配集料的早期强度时，可外加(1%~2%)的水泥。

6.4 水泥粉煤灰稳定再生集料组成设计

6.4.1 一般规定

6.4.1.1 水泥粉煤灰稳定再生集料采用质量配合比计算，以水泥：粉煤灰：再生级配集料的质量比表示。

6.4.1.2 水泥粉煤灰稳定再生集料的 7 d 无侧限抗压强度代表值应符合表 10 的规定。

表10 水泥粉煤灰稳定再生集料 7 d 无侧限抗压强度 (MPa)

结构层	道路等级	重、中交通	轻交通
基层	城市道路、二级及以下公路	1.5~3.5	1.2~1.5
底基层		≥1.0	≥0.6
注：非机动车道、园路、人行道及步行街路面结构应按轻交通确定。			

6.4.1.3 水泥粉煤灰稳定再生集料的组成设计应根据表 10 及设计的强度标准，通过试验确定适宜的配合比，以及混合料的最佳含水率和最大干密度。

6.4.1.4 水泥粉煤灰稳定再生集料的水泥掺量宜控制在(3%~5%)范围内，水泥粉煤灰与再生级配集料的质量比宜为(12~17)：(80~83)。

6.4.1.5 水泥粉煤灰稳定再生级配集料的级配宜符合表 11 的规定。

表11 水泥粉煤灰稳定再生级配集料的集料级配范围 (%)

筛孔尺寸 (mm)	城市快速路、主干路		其他等级城市道路、二级及以下公路	
	CF-A-1S	CF-A-2S	CF-B-1S	CF-B-2S
37.5	-	-	100	-
31.5	100	-	100~90	100
26.5	95~90	100	93~80	100~90
19.0	84~72	88~79	81~64	86~70

表 11 水泥粉煤灰稳定再生级配集料的集料级配范围 (%) (续)

筛孔尺寸 (mm)	城市快速路、主干路		其他等级城市道路、二级及以下公路	
	CF-A-1S	CF-A-2S	CF-B-1S	CF-B-2S
16.0	79~65	82~70	75~57	79~62
13.2	72~57	76~61	69~50	72~54
9.5	62~47	64~49	60~40	62~42
4.75	40~30	40~30	45~25	45~25
2.36	28~19	28~19	31~16	31~16
1.18	20~12	20~12	22~11	22~11
0.6	14~8	14~8	15~7	15~7
0.3	10~5	10~5	-	-
0.15	7~3	7~3	-	-
0.075	5~2	5~2	5~2	5~2

6.4.2 原材料试验

6.4.2.1 在水泥粉煤灰稳定再生集料施工前，应取有代表性的再生集料按行业标准 JTG E51-2009 和 JTG E42-2005 的规定进行下列试验：

- a) 颗粒分析；
- b) 0.6 mm 以下粒径颗粒的液限、塑性指数；
- c) 压碎值；
- d) 针片状颗粒含量；
- e) 再生粗集料中混凝土颗粒含量；
- f) 杂物含量。

6.4.2.2 水泥应符合 6.1.2 的规定。

6.4.2.3 粉煤灰应符合 6.1.4 的规定。

6.4.3 混合材料设计步骤

6.4.3.1 如再生集料的级配不能满足要求，可通过掺加天然集料，使其级配符合表 11 的规定。

6.4.3.2 根据所得的水泥粉煤灰混合料比例，制备同一种试样的 (3~5) 种不同配合比的水泥粉煤灰稳定再生集料。其配合比范围宜符合 6.4.1.4 的规定。

6.4.3.3 确定不同配合比水泥粉煤灰稳定再生集料的最佳含水率和最大干密度。

6.4.3.4 按规定达到的压实度，分别计算不同配合比时水泥粉煤灰稳定再生集料试件应有的干密度。

6.4.3.5 按最佳含水率和计算得的干密度制备试件进行无侧限抗压强度试验时，其试件数量应满足 JTG E51-2009 中 T0843 的规定。

6.4.3.6 试件在规定温度下保湿养生 6 d，浸水 24 h 后，按 JTG E51-2009 中 T0805 的规定进行无侧限抗压强度试验。

6.4.3.7 计算试验结果的平均值和变异系数。

6.4.3.8 根据表 10 中的强度标准，选定混合料的配合比，在此配合比下试件室内试验结果的平均抗压强度 \bar{R} 应符合公式 (3)：

$$\bar{R} \geq \frac{R_d}{1 - Z_a C_v} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

R_d ——设计抗压强度，MPa；

C_v ——试验结果的变异系数（以小数计）；

Z_a ——标准正态分布表中随保证率（或置信度 α ）而变的系数，轻交通等级道路应取保证率90%，即 $Z_a=1.282$ ；其他交通等级道路应取保证率95%，即 $Z_a=1.645$ 。

7 结构与组合

7.1 一般规定

7.1.1 道路基层及以下结构的设计，宜使用再生集料。

7.1.2 道路基层的组合设计应符合相关标准。

7.2 结构设计及组合

7.2.1 道路基层和底基层应满足强度和稳定性的要求，具有足够的承载力、抗疲劳开裂性能和抗冲刷能力。

7.2.2 各结构层的材料回弹模量宜自上而下递减。

7.2.3 无机结合料稳定再生集料道路基层和底基层结构具有半刚性的特性，其厚度不宜小于15 cm。

7.2.4 无机结合料稳定再生集料路面基层设计抗压回弹模量、劈裂强度等设计参数应根据设计阶段的要求确定，并符合下列规定：

- a) 可行性研究阶段可参考表12确定设计参数；
- b) 初步设计或施工图设计时应通过试验测定设计参数。

表12 材料设计参数参考值

材料名称	配合比或规格要求	抗压模量 E (MPa) (弯沉计算用)	抗压模量 E (MPa) (拉应力计算用)	劈裂强度 δ (MPa)
水泥稳定再生集料	3%~6%	800~1300	1700~2700	0.35~0.6
石灰粉煤灰稳定再生集料	7:13:80	700~1100	1600~2000	0.25~0.4
水泥粉煤灰稳定再生集料	3:9:88	700~1100	1100~2000	0.25~0.4

7.2.5 根据道路等级、交通荷载、材料供应、路基条件及环境条件等因素，结合使用性能要求进行路面结构设计，合理选择结构组合。常用路面基层和底基层结构组合可参照表13选用。

表13 无机结合料稳定再生集料路面基层和底基层结构组合

道路等级	交通等级	
	重交通	中、轻交通
城市主干路	基层（Ⅰ级） 下基层、底基层（Ⅱ级）	基层（Ⅰ级）
城市次干路二级公路		下基层、底基层（Ⅱ级）
城市支路及以下道路、三级及以下公路		基层、底基层（Ⅱ级）
注：非机动车道、人行道、园路、停车场可按城市支路轻交通参考执行。		
注：分两层铺筑的基层分为上基层和下基层。		

8 施工

8.1 一般规定

- 8.1.1 按规定对上道工序进行检查验收，符合要求后方可进行该工序施工。施工前，应清除下承层表面的浮土，并洒水润湿。
- 8.1.2 正式开工之前，应铺筑不小于 200 m 的试验段，确定施工工艺和质量控制要求。
- 8.1.3 流水作业段的长度以 200 m 为宜。
- 8.1.4 水泥稳定再生级配集料，宜在 2 h 内完成碾压成型，应取混合料的初凝时间和容许延迟时间中较短的时间作为施工控制时间，石灰粉煤灰稳定再生级配集料宜在当天碾压完成，最长不应超过 4 d。
- 8.1.5 无机结合料稳定再生集料在过分潮湿路段施工时应采取措施，降低潮湿程度，消除积水。
- 8.1.6 无机结合料稳定再生集料结构层的压实最小厚度不应小于 100 mm，压实最大厚度不宜大于 200 mm。

8.2 拌和

- 8.2.1 拌和前，应对再生粗集料均匀、充分预湿。
- 8.2.2 宜采用稳定土振动搅拌机，并通过搅拌装置对混合料施加振动作用，拌和机振动搅拌时搅拌装置振动频率不小于 25 Hz，最大振动处振动强度不小于 1.5。
- 8.2.3 拌和设备应根据备料档数配备冷料仓。料斗入口须安装剔除超粒径粒料的钢筋网盖。
- 8.2.4 料仓应安装电子称，其精度不超过 $\pm 2\%$ 。
- 8.2.5 监测拌和时的水泥用量、含水量和结合料的拌和均匀性，发现异常要及时调整或停止生产。
- 8.2.6 正常生产后，用四分法进行缩分取样，根据检验结果反馈到操作台调整生产配合比；按要求做好水泥剂量和含水量检查记录。
- 8.2.7 拌和含水率应按试验段及摊铺现场实际情况微调，含水量控制在最佳含水量 $\pm 2\%$ 以内。

8.3 运输

- 8.3.1 施工前应根据运距、搅拌能力、摊铺能力确定运输车辆的数量与配置。
- 8.3.2 每天开工前，检验运输车辆完好情况，装料前应将车厢清洗干净。
- 8.3.3 装车时，运输车辆应前后移动，按“品”字形分多次装料。
- 8.3.4 无机结合料稳定再生集料运输应采取覆盖措施。
- 8.3.5 水泥稳定再生级配集料出厂时应在过磅单上注明出厂时间，从装车出厂（发料）到运输至工地摊铺（收料），应采用水泥稳定再生级配集料的初凝时间与容许延迟时间中较短的时间作为施工控制时间。超时的水泥稳定级配集料应报废，不得摊铺。
- 8.3.6 运输车运输过程中不得超载，避免急刹车或急掉头，避免混合料发生离析。

8.4 摊铺

- 8.4.1 宜采用机械摊铺；运料车分 (2~3) 次升降向摊铺机卸料。摊铺速度宜控制在 (1.0 ~ 2.5) m/min，根据供料情况，保证不间断施工。防止运输车辆碰撞摊铺机。
- 8.4.2 螺旋分料器应匀速不间断地旋转送料，且全部埋入混合料中。
- 8.4.3 螺旋分料器转速应与摊铺速度相适应，两侧边缘料位应充足。
- 8.4.4 使用带有自动找平装置的摊铺机摊铺时，两侧均设有基准线控制高程；机械摊铺时，其松铺系数宜为 (1.25~1.40)；人工摊铺时，其松铺系数宜为 (1.40~1.50)。
- 8.4.5 摊铺机梯队作业时，两台摊铺机前后相隔 (5~10) m 同步向前摊铺混合料。
- 8.4.6 当现场条件受限，无法使用平地机时，可人工挂线找平。
- 8.4.7 每层按松铺厚度一次铺齐，颗粒分布均匀，厚度一致，不得多次找补。

8.4.8 在整形过程中，应将高处集料直接刮出路外，不应形成薄层贴补，并保证无明显的粗细集料离析现象。整形应达到规定的坡度和路拱，接缝顺直平整。

8.4.9 已摊平的集料，碾压前应断绝交通，保持摊铺层清洁。

8.5 碾压

8.5.1 无机结合料稳定再生集料宜按照表 14 进行，每遍重叠 1/2 轮宽。碾压作业结束前，如有局部晒干和风干迹象，影响压实时应及时采用喷雾形式补水。

8.5.2 摊铺机梯队作业产生的纵向接茬的碾压，前一幅应预留 (30~50) cm 不碾压，待下一幅跟进后一起碾压。

表14 碾压方案

阶段	压路机型号	数量	碾压速度 m/min	碾压方式	碾压遍数
初压	11 t以上双钢轮	不少于2台	25~27	前静后振	1~2
复压	20 t以上钢轮压路机	不少于3台	30~37	先弱振1遍、强振4遍、后弱振1遍	不少于6
终压	26 t以上胶轮压路机或 钢轮压路机	不少于1台	25~27	静压	1~2

8.5.3 严禁压路机在已完成的或正在碾压的路段上调头或急刹车，应保证无机结合料稳定再生集料表面不受破坏。

8.5.4 碾压前应适量洒水；碾压过程中，水泥稳定再生集料的表面应始终保持湿润，如水分蒸发过快，应及时补洒，严禁洒大水碾压。

8.5.5 碾压过程中，如有“弹簧”、松散、起皮等现象，应及时翻开重新拌和（加适量的水泥）或用其他方法处理，使其达到质量要求。

8.5.6 水泥稳定再生级配集料，宜在水泥初凝前完成碾压，达到要求的压实度，没有明显的轮迹。

8.5.7 碾压结束前，用平地机再终平一次，使其纵向顺适，路拱和超高符合设计要求。整形应达到规定的坡度和路拱，接缝顺直平整；对于局部低洼之处，不再进行找补，可留待铺筑下一层结构时处理。

8.5.8 检查井、线杆等构筑物周围采用小型机械夯夯实，达到要求的压实度，表面应平整并满足高程要求。

8.5.9 施工缝的处理

8.5.9.1 碾压完成后用 3m 直尺检查碾压段的末端，确定厚度、平整度合格的位置，在此位置处垂直路中心拉线，沿线用人工将末端集料刨除，切成垂直面，用塑料薄膜覆盖。

8.5.9.2 二次施工前将上一次切成的立茬处洒水湿润并刷水泥素浆，然后将新摊铺的水泥稳定再生级配集料修整平顺。

8.6 养护

8.6.1 底基层、基层碾压完毕，经检测合格后应立即在潮湿状态下进行养护。养护期视季节而定，不宜少于 7 天。

8.6.2 无机结合料稳定再生集料压实后应适量洒水，保持表面湿润。

8.6.3 养护期间宜封闭交通。需要通行的车辆应限速，严禁履带车辆通行。

9 验收

9.1 主控项目

9.1.1 原材料质量检验应符合 6.1.1~6.1.5 的规定。

检查数量：按不同材料进场批次，每批次抽查1次。

检查方法：查检验报告、复验。

9.1.2 基层，底基层的压实度应符合下列要求：

检查数量：每压实层，每1000 m²抽检1点。

检验方法：灌砂法或灌水法。

a) 重、中交通等级道路的基层大于或等于 97 %，底基层大于或等于 96 %；

b) 轻交通等级道路的基层大于或等于 96 %，底基层大于或等于 95 %。

9.1.3 基层、底基层的 7d 无侧限抗压强度应符合设计要求。

检查数量：每2000 m²抽检1组，每次施工路段不足2000 m²时亦抽检1组。

检查方法：现场取样试验。

9.1.4 弯沉值，不应大于设计规定。

检查数量：设计规定时每车道、每20 m，测1点。

检验方法：弯沉仪检测。

9.2 一般项目

9.2.1 表面应平整、密实、接缝平顺，无明显粗、细集料离析现象，无明显轮迹、推移、裂缝、贴皮、松散、浮料。

9.2.2 基层及底基层的允许偏差应符合表 15 的规定。

9.2.3 应用于公路工程的基层时，质量验收应按行业标准 JTG F80/1-2017 执行。

表 15 建筑垃圾再生集料无机混合料基层及底基层允许偏差

项目	允许偏差	检验频率			检验方法	
		范围	点数			
中线偏位 (mm)	≤20	100 m	1		用经纬仪测量	
纵断高程 (mm)	基层 ±15	20 m	1		用水准仪测量	
	底基层 ±20					
平整度 (mm)	基层 ≤10	20 m	路宽 (m)	<9	1	用 3m 直尺和塞尺连续量两尺，取较大值
				9~15	2	
				>15	3	
底基层 ≤15						
宽度 (mm)	不小于设计规定+B	40 m	1		用钢尺量	
横坡	±0.3 %且不反坡	20 m	路宽 (m)	<9	2	用水准仪测量
				9~15	4	
				>15	6	
厚度 (mm)	±10	1000 m ²	1		用钢尺量	

注：B为施工时必要的附加宽度。

9.3 工程质量验收

9.3.1 施工前，施工单位应会同建设单位、监理工程师确认构成建设项目的单位工程、分部工程、分项工程和检验批，作为施工质量检验、验收的基础，并符合下列规定。

- a) 建设单位招标文件确定的每一个独立合同应为一个单位工程。当合同文件包含的工程内涵较多，或工程规模较大或由若干独立设计组成时，宜按工程部位或工程量、每一独立设计将单位工程分成若干子单位工程；
- b) 单位(子单位)工程应按工程的结构部位或特点、功能、工程量划分分部工程。分部工程的规模较大或工程复杂时宜按材料种类、工艺特点、施工工法等，将分部工程划为若干子分部工程；
- c) 分部工程(子分部工程)可由一个或若干个分项工程组成，应按主要工种、材料、施工工艺等划分分项工程；
- d) 分项工程可由一个或若干检验批组成。检验批应根据施工质量控制和专业验收需要划定。本标准未规定时，施工单位应在开工前会同建设单位、监理工程师共同研究确定。

9.3.2 施工过程中应按照下列规定进行施工质量控制，并应进行施工过程的检验、验收。

- a) 工程采用的主要材料、半成品、成品、构配件、器具和设备应按相关专业质量标准进行进场检验和使用前复验。现场验收和复验结果应经监理工程师检查认可。凡涉及结构安全和使用功能的，监理工程师应按规定进行平行检测或见证取样检测，并确认合格；
- b) 各分项工程应按本标准进行质量控制，各分项工程完成后应进行自检、交接检验，并形成文件。经监理工程师检查签认后，方可进行下个分项工程施工；
- c) 工程采用的主要材料、半成品、成品、构配件、器具和设备应按相关专业质量标准进行进场检验和使用前复验。现场验收和复验结果应经监理工程师检查认可。凡涉及结构安全和使用功能的，监理工程师应按规定进行平行检测或见证取样检测，并确认合格；
- d) 各分项工程应按本标准进行质量控制，各分项工程完成后应进行自检、交接检验，并形成文件。经监理工程师检查签认后，方可进行下个分项工程施工。

附 录 A
(规范性附录)

再生混凝土颗粒含量与杂物含量试验方法

A.1 取样数量

试验的最小取样数量应符合表A.1的规定。再生混凝土颗粒含量与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

集料最大公粒径/mm	9.5	19.0	26.5	31.5	37.5
最少取样数量/kg	20	40	40	60	60

A.2 试样处理

按照GB/T 14685-2011规定的试验处理方法进行。

A.3 试验步骤与结果处理

A.3.1 按照GB/T 14685-2011规定的方法取样，将试样过4.75 mm方孔筛，取筛上部分进行试验，将试样缩分至不小于表A.2规定的数量称重后人工分选的方法选出混凝土块、石块以及铁质物、有色金属、土、塑料、沥青、木材、玻璃、石灰、石膏、矿（岩）棉、加气混凝土块和膨胀珍珠岩制品等杂物，然后称量再生混凝土颗粒总质量以及各种杂物总质量，并计算其所占4.75 mm以上部分试验总质量的百分比。

表A.2 再生混凝土颗粒级杂物含量所需试样数量

集料最大公称粒径/mm	9.5	19.0	26.5	31.5	37.5
最少取样数量/kg	4.0	8.0	8.0	15.0	15.0

A.3.2 试验结果取三次平行试验的平均值，精确至0.1%。

A.3.3 分别按下式计算再生粗集料中混凝土颗粒和杂物占再生粗集料试样总质量的百分比，精确至0.1%。

$$Q_a = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \dots\dots\dots (A.3.3-1)$$

$$Q_b = \frac{m_3}{m_1} \times 100\% \dots\dots\dots (A.3.3-2)$$

式中：

Q_a ——再生粗集料中混凝土颗粒含量，%；

Q_b ——再生粗集料中杂物含量，%。

参 考 文 献

- [1] GB 175-2007 通用硅酸盐水泥
 - [2] CJJ 1-2008 城镇道路工程施工与质量验收规范
 - [3] CJJ 169-2012 城镇道路路面设计规范
 - [4] JC/T 2281-2014 道路用建筑垃圾再生骨料无机混合料
 - [5] JGJ/T240 再生骨料应用技术规程
 - [6] JTG/T F20-2015 公路路面基层施工技术细则
 - [7] DB 41/T 1193-2016 建筑废弃物填筑路基施工技术规范
 - [8] DBJ41/T 166-2016 城镇道路建筑垃圾再生集料路面基层施工技术规范
-