

上海市工程建设规范 DG

DG/TJ XX-XXXX-XXXX

XXXX-XXXX

建筑垃圾在半刚性道路基层中应用技术规程

Technical specification for construction waste in semi-rigid road base

(征求意见稿)

2019-XX-XX发布

2019-XX-XX实施

上海市城乡建设和管理委员会发布

上海市工程建设规范

建筑垃圾在半刚性道路基层中应用技术规程

Technical specification for construction waste in semi-rigid road base

DG/TJ xx-xxxx-xxxx

xxxx-xxxx

主编单位：上海市建筑科学研究院

上海市公路桥梁（集团）有限公司

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

批准部门：

施行日期：2019年**月**日

同济大学出版社

2019 上海

前言

根据上海市住房和城乡建设管理委员会《关于印发<2018年上海市工程建设规范、建筑标准设计编制计划>的通知（沪建标定[2017]898号）》的要求，由上海市建筑科学研究院、上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司和上海市公路桥梁（集团）有限公司会同有关单位经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定了本规程。

本规程主要技术内容包括：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 建筑垃圾再生集料；5 建筑垃圾再生集料无机混合料配合比设计与性能要求；6 结构组合及构造；7 施工；8 验收。

各单位在执行本规程过程中，请结合实际，认真总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给上海市建筑科学研究院（地址：上海市宛平南路75号；邮编200032；E-mail: yanglixiang@sribs.com.cn），以供今后修订时参考。

主编单位：上海市建筑科学研究院

上海市公路桥梁（集团）有限公司

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

参编单位：上海勤顺建设工程有限公司

上海老港固废综合开发有限公司

上海城建物资有限公司

.....

主要起草人：

主要审查人：

目次

前言	II
1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	4
4 建筑垃圾再生集料	5
5 建筑垃圾再生集料无机混合料配合比设计与性能要求	0
5.1 基本规定	0
5.2 石灰粉煤灰稳定再生级配集料	0
5.3 水泥稳定再生级配集料	4
6 结构组合及构造	0
6.1 一般规定	0
6.2 结构组合及构造	0
7 施工	0
8 验收	0
8.1 原材料验收	0
8.2 工程质量和竣工验收	0
附录 A	0
本规程用词说明	0
引用标准名录	0

1 总则

1.0.1 为贯彻国家节约资源、保护环境的方针政策，推动建筑垃圾的再生资源化利用，规范建筑垃圾在半刚性道路基层中的应用，确保工程质量，制定本规程。

【条文说明】建筑垃圾再生集料无机结合料的开发与应用，不仅可以促进建筑垃圾的资源化利用，为建筑垃圾再生集料提供新的应用领域，并且对城市生态环境改善具有重要意义。为贯彻国家固体废弃物资源利用，规范建筑垃圾在半刚性道路基层中的设计、施工、验收，确保工程质量，特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于城市道路中采用建筑垃圾再生集料的半刚性基层的设计、施工及验收，公路中采用建筑垃圾再生集料的半刚性基层的设计、施工及验收参照执行。

1.0.3 建筑垃圾再生集料在半刚性道路基层中的应用，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

【条文说明】建筑垃圾再生集料无机混合料的原材料、成品以及在工程中的应用涉及不同的国家标准和行业标准，在使用中除应执行本规程外，还应满足涉及的其他现行标准规范的规定。

2 术语

2.0.1 建筑垃圾 **construction waste**

指拆除各类建（构）筑物和临时设施产生的拆除垃圾、房屋装饰装修产生的装修垃圾。

【条文说明】根据 2017 年 9 月 18 日公布的《上海市建筑垃圾处理管理规定》（沪府令 57 号），建筑垃圾包括建设工程垃圾和装修垃圾。建设工程垃圾是指建设工程的新建、改建、扩建、修缮或者拆除等过程中，产生的弃土、弃料和其他废弃物。装修垃圾是指按照国家规定无需实施施工许可管理的房屋装饰装修过程中，产生的弃料和其他废弃物。由于建设工程垃圾中的废弃混凝土的资源综合利用率较高，标准规范相对完善，而装修垃圾、建设工程垃圾中的拆除垃圾的综合利用率较低，技术标准缺乏，因此本规程涉及的建筑垃圾为拆除垃圾和装修垃圾。

2.0.2 建筑垃圾再生集料 **construction waste recycled aggregate**

由建筑垃圾中的混凝土、砂浆、石、砖瓦等加工而成的粒料，分为再生粗骨料和再生细骨料。

2.0.3 建筑垃圾再生级配集料 **recycled graded aggregate**

由再生粗集料和再生细集料按一定比例混合，级配满足一定要求且塑性指数和承载比均符合规定要求的级配集料。

2.0.4 建筑垃圾再生集料无机混合料 **construction waste recycled aggregate inorganic**

由再生级配集料配制的无机混合料，根据无机结合料的种类分为石灰粉煤灰稳定再生级配集料和水泥稳定再生级配集料。

2.0.5 石灰粉煤灰稳定再生级配集料 **lime-flyash stabilized recycled graded aggregate**

以石灰、粉煤灰为结合料，通过加水与一定数量的再生级配集料共同拌和形成的混合料。

2.0.6 水泥稳定再生级配集料 **cement stabilized recycled graded aggregate**

以水泥为结合料，通过加水与一定数量的再生级配集料共同拌和形成的混合料。

【条文说明】对工程中常见的两种稳定材料-水泥稳定材料和石灰粉煤灰稳定材料进行定义，其中的被稳定材料为再生级配集料。

2.0.7 再生混凝土颗粒 **recycled aggregate concrete**

建筑垃圾再生集料中粒径 4.75mm 以上部分混凝土及石块类粒料的总称。

【条文说明】本规程中的建筑垃圾涉及拆除垃圾和装修垃圾，其中含有一定比例的红砖，红砖因强度低、吸水率大，对再生集料性能影响明显，进而影响稳定材料的性能，因此对其中的再生混凝土颗粒进行规定。

2.0.8 杂物 **impurities**

建筑垃圾再生集料中除混凝土、砂浆、石、砖瓦、陶瓷之外的其他物质。

【条文说明】拆除垃圾和装修垃圾中含有的金属、沥青、木材、玻璃、石膏、加气混凝土块等物质，对道路基层质量有影响，应通过分类、分选、分拣等工艺去除。国标《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177-2010将“杂物”定义为“除混凝土、石、砂浆、砖瓦之外的其它物质”。本规程将“杂物”定义为“除混凝土块、石块、砂浆、砖瓦、陶瓷之外的其它物质”，因为拆房垃圾和装修垃圾中含有一定量的陶瓷，而陶瓷的原材料、生产工艺、技术性能与砖瓦基本相同，并且陶瓷的吸水率较低，强度较高，因此不应将陶瓷作为杂物。

2.0.9 轻物质 light component

建筑垃圾再生集料中表观密度小于 2000kg/m^3 的物质。

3 基本规定

3.0.1 采用建筑垃圾再生集料配制的半刚性道路基层的路面结构应根据建筑垃圾再生集料无机混合料的材料性能、路面荷载等级、地基承载能力、渗透性和冻胀情况进行设计。

【条文说明】建筑垃圾再生集料配制的半刚性道路基层的设计需要同时兼顾材料性能、路面荷载等级、地基承载能力、渗透性和冻胀情况。

3.0.2 对有潜在陡坡坍塌、滑坡灾害、自然环境再生危害的场所和严寒地区的道路基层不应采用建筑垃圾再生集料无机混合料。

【条文说明】由于再生集料无机混合料的抗冻性能相对天然集料无机结合料较差，因此严寒地区的道路基层不应采用再生集料无机混合料。对于湿陷性黄土地区、盐渍土地区、膨胀土地区的道路基层工程，由于存在较为复杂的服役环境，基层不应采用建筑垃圾再生集料无机混合料。

3.0.3 建筑垃圾再生集料无机混合料的应用应符合城市道路、公路领域国家及地方相关安全和环保要求。

【条文说明】建筑垃圾再生集料无机混合料的应用除应符合相关标准规范外，还应符合相关领域内的国家和地方政策的安全和环保要求。

4 建筑垃圾再生集料

4.0.1 不得使用被污染或腐蚀的建筑垃圾制备再生集料。

【条文说明】为防止污染地下水和地表土，不得使用被污染或腐蚀的建筑垃圾制备再生集料。原则上，下列情况下的建筑垃圾不得用于生产再生集料：

- 1 建筑垃圾来自特殊使用场合的混凝土（如核电站、医院放射室等）；
- 2 建筑垃圾已受重金属或有机物污染；
- 3 建筑垃圾已受硫酸盐或氯盐等腐蚀介质严重侵蚀。

4.0.2 再生粗集料的规格宜符合 JTG/T F20 中粗集料规格要求。

4.0.3 再生细集料的规格宜符合 JTG/T F20 中细集料规格要求。

4.0.4 道路基层用建筑垃圾再生集料性能指标应符合表 1 的规定。

表 1 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 之 T0316
	再生混凝土颗粒含量/%	≥90	≥30	附录 A
	含泥量/%	<1.0	<3.0	JTG E42 之 T0310
	针片状颗粒含量/%	<5		JTG E42 之 T0312
	杂物含量/%	<0.5	<1.0	附录 A
再生细集料	压碎值/%	≤30	≤40	JTG E42 之 T0350
	轻物质含量/%	<1.0		JTG E42 之 T0338
	泥块含量/%	<2.0	<3.0	GB/T14684
	液限 ^a /%	≤40		JTG E40 之 T0118
	塑性指数 ^a	≤20		JTG E40 之 T0118
	三氧化硫含量/%	≤0.8		JTG E42 之 T0313
	有机质含量	合格		JTG E42 之 T0336
再生粗、细集料	浸出液成分	应符合 GB3838 中 IV 类限值的规定		GB/T5085.3

^a应测定 0.075mm 以下材料的液限、塑性指数。

【条文说明】

再生粗集料

【压碎值】为保证建筑垃圾再生集料的路用性能，要求其应满足一定的强度要求。再生集料相比天然集料，微裂缝多，强度低；同时大部分拆除垃圾、装修垃圾组成中除强度较高的混凝土成分，还含有一些低密度的砖瓦、砂浆等材料，强度更低。因此，结合验证试验数据，本规程根据压碎值将建筑垃圾再生粗集料分为两个等级：Ⅰ级（压碎值 $\leq 30\%$ ）、Ⅱ级（压碎值 $\leq 40\%$ ）。

【再生混凝土颗粒含量】纯红砖制备的再生集料吸水量大、强度低，对道路材料力学性能和耐久性均影响很大，因此应对再生粗集料中红砖比例进行限制。本规程对再生粗集料中再生混凝土颗粒进行规定，其中达到Ⅰ级再生粗集料，其组分应以废混凝土为主，再生混凝土颗粒含量应不低于 90%；另外经验证试验，再生混凝土颗粒 $\geq 30\%$ 时，再生粗集料完全可以用于道路基层。

【含泥量】再生集料的含泥量（微粉含量）对无机结合料（水泥/石灰-粉煤灰）与再生集料之间的粘结，降低道路材料的强度和耐久性。根据验证试验，四家企业再生粗集料样品中有一家含泥量 $< 1\%$ 、两家 1~3%、还有一家 $> 5\%$ ，结合 JTG/T F20-2015 中含泥量指标进行比较，本规程规定Ⅰ级再生粗集料的含泥量 $< 1\%$ ，Ⅱ级再生粗集料的含泥量规定为 $< 3\%$ 。

【针片状颗粒含量】再生粗集料中的针片状颗粒对粗骨料的堆积密度和空隙率有影响，进而对道路基层材料的最大干密度和强度等产生影响。根据验证试验，四家企业生产的再生粗集料中针片状含量均较低，不超过 4%，因此本规程将再生粗骨料针片状颗粒含量规定为 $< 5\%$ ，这一指标严于国家同类产品指标要求。

【杂物含量】国标《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177-2010 中杂物含量的指标要求为 $< 1.0\%$ ，行业标准《道路用建筑垃圾再生骨料无机混合料》JC/T 2281-2014 规定Ⅰ类再生骨料的杂物含量 $\leq 0.5\%$ ，Ⅱ类再生骨料的杂物含量 $\leq 1\%$ ，其中Ⅰ类再生级配骨料可用于城镇道路路面的底基层以及主干路及以下道路的路面基层，Ⅱ类再生级配骨料可用于城镇道路路面的底基层以及次干路、支路及以下道路的路面基层。本规程结合验证试验数据（三家企业产品数据，两家杂物含量 $< 0.5\%$ 、一家 3.2%），规定Ⅰ级再生粗集料的杂物含量规定为 $< 0.5\%$ ，Ⅱ级再生粗集料的杂物含量规定为 $< 1\%$ 。

再生细集料

【压碎值】结合验证试验数据（五家企业产品数据，一家以废混凝土为主，压碎值 20%；其余四家砖砼混杂，压碎值 32%~38%），本规程根据压碎值将建筑垃圾再生细集料分为两个等级：Ⅰ级（压碎值 $\leq 30\%$ ）、Ⅱ级（压碎值 $\leq 40\%$ ）。

【轻物质含量、泥块含量】对建筑垃圾再生细骨料的轻物质含量和泥块含量进行规定，轻物质含量 $< 1.0\%$ ；Ⅰ级再生细骨料的泥块含量 $< 2.0\%$ ，Ⅱ级再生细骨料的泥块含量 $< 3.0\%$ ，与国标《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176-2010 保持一致。若再生细集料的泥块含量较高，应进一步去土、筛分。

【液限、塑性指数】根据行业标准《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20-2015 规定，采用水泥稳定时，被稳定材料的液限应不大于 40%，塑性指数应不大于 17；塑性指数大于 17 时，宜采用石灰粉煤灰稳定或水泥石灰综合稳定。结合 JTG/T F20-2015 对细集料技术要求和验证试验结果，规定再生细骨料液限 \leq 40%，塑性指数 \leq 20%。但用水泥稳定时，塑性指数应 \leq 17%。

【三氧化硫含量】行业标准《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20-2015 规定用于高速公路和以及公路时，水泥稳定材料中，细集料的硫酸盐含量 \leq 0.25%；石灰稳定材料中，细集料的硫酸盐含量 \leq 0.8%。因此，本规程规定再生细骨料（ $<4.75\text{mm}$ 部分）的三氧化硫含量 \leq 0.8%，但建筑垃圾再生细骨料用于城市快速路、主干路和高速公路、一级公路时，三氧化硫含量应 \leq 0.25%。

【有机质含量】再生细集料有机质含量过高，将影响无机结合料的品质。根据《公路工程集料试验规程》JTG E42-2005，采用标准溶液对比颜色的方法，鉴定有机质含量。若试样上部的溶液颜色浅于标准溶液的颜色，则有机质含量鉴定合格。本规程规定有机质含量的指标要求为合格。

【浸出液成分】现行国家和行业建筑垃圾再生集料相关的技术标准尚未列出环保性指标。本规程考虑建筑垃圾为固废，为保证其用于道路基层材料中对水体的安全性，本规程提出建筑垃圾再生集料“pH 值及重金属含量应满足《地表水环境质量标准》GB3838 中 IV 类限值的规定”（地表水 IV 类主要适用于一般工业用水区及非人体直接接触的娱乐用水区）。

5 建筑垃圾再生集料无机混合料配合比设计与性能要求

5.1 基本规定

5.1.1 用于不同等级道路基层建筑垃圾再生集料的选用应符合表 2 的规定。

表 2 建筑垃圾再生集料的适用范围

道路等级	基层	底基层
城市快速路、主干路 高速公路、一级公路	-	I
其他等级城市道路与公路	I	II

【条文说明】根据《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20-2015，用于高速公路和一级公路底基层的粗集料压碎值应 $\leq 30\%$ ，用于二级及二级以下公路基层的粗集料压碎值应 $\leq 35\%$ 、用于底基层的粗集料的压碎值应 $\leq 40\%$ 。本规程规定，I 级再生骨料（压碎值 $\leq 30\%$ ）用于城市快速路、主干路高速公路、一级公路底基层和其他等级城市道路与公路的基层，II 级再生骨料（压碎值 $\leq 40\%$ ）用于其他等级城市道路与公路的底基层。

5.2 石灰粉煤灰稳定再生级配集料

5.2.1 石灰粉煤灰稳定再生级配集料按再生集料粒径、级配不同分为粗粒径与细粒径两种。

5.2.2 原材料

1 石灰应符合现行上海市工程建设规范 DG/TJ 08-87-2016 中 7.2.2 的规定。

2 粉煤灰应符合现行上海市工程建设规范 DG/TJ 08-87-2016 中 7.2.1 的规定。

3 粗粒径石灰粉煤灰稳定再生级配集料的再生集料粒径应为 31.5mm~53mm，其中小于 31.5mm 的含量不宜超过 15%，大于 53mm 的含量不宜超过 5%，最大粒径不超过 63mm，性能应满足表 1 的要求。

4 细粒径石灰粉煤灰稳定再生级配集料的再生集料性能应满足表 1 的要求，集料级配应符合设计要求，无具体要求时，可按表 3 选用，并应符合下列规定：

1) 用于城市快速路、主干路和高速公路、一级公路底基层时，级配宜符合表 3 中 LF-A-1S 的规定。

对极重、特重交通荷载等级，级配宜符合表 3 中 LF-A-2S 的规定。

2) 用于其他等级城市道路和公路基层时，级配宜符合表 3 中 LF-B-2S 的规定。

3) 用于其他等级城市道路和公路底基层时, 级配宜符合表 3 中 LF-B-1S 的规定。对极重、特重交通荷载等级, 级配宜符合表 3 中 LF-B-2S 的规定。

5 水应符合 JGJ63 的规定。

表 3 石灰粉煤灰稳定再生级配集料的集料推荐级配范围

筛孔尺寸 (mm)	城市快速路、主干路 高速公路、一级公路		其他等级城市道路 与公路	
	LF-A-1S	LF-A-2S	LF-B-1S	LF-B-2S
31.5	100	-	100~90	100
26.5	95~91	100	94~81	100~90
19.0	85~76	89~82	83~167	87~73
16.0	80~69	84~73	78~61	82~65
13.2	75~62	78~65	73~54	75~58
9.5	65~51	67~53	64~45	66~47
4.75	45~35	45~35	50~30	50~30
2.36	31~22	31~22	36~19	36~19
1.18	22~13	22~13	26~12	26~12
0.6	15~8	15~8	19~8	19~8
0.3	10~5	10~5	-	-
0.15	7~3	7~3	-	-
0.075	5~2	5~2	7~2	7~2

【条文说明】对粗粒径石灰粉煤灰稳定级配集料的集料粒径要求, 参考上海市工程建设规范《道路、排水管道成品与半成品施工及验收规程》DG/TJ 08-87-2016, 对细粒径石灰粉煤灰稳定级配集料的集料级配, 参考现行行业标准《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 的相关级配规定。

5.2.2 配合比设计

1 石灰粉煤灰稳定再生级配集料配合比采用质量比, 并符合设计要求。无设计要求时, 宜符合表 4 规定。

表 4 石灰粉煤灰稳定再生级配集料配合比

混合料类型	消石灰 (%)	粉煤灰 (%)	再生级配集料 (%)
粗粒径石灰粉煤灰稳定再	8: 32: 60; 10: 25: 65; 12: 24: 64		

生级配集料	
细粒径石灰粉煤灰稳定再生级配集料	8: 19: 73; 6: 14: 80
生级配集料	

【条文说明】细粒径石灰粉煤灰稳定再生级配集料在用于城市快速路、主干路基层、高速公路、一级公路底基层时，石灰粉煤灰总质量占混合料总质量百分比宜为 15%，且不大于 20%。在用于其他等级城市道路与公路的基层，石灰粉煤灰总质量占混合料总质量百分比宜为 15%，且不大于 20%；在用于其他等级城市道路与公路的底基层，石灰粉煤灰总质量占混合料总质量不大于 30%。

2 粗粒径石灰粉煤灰稳定再生级配集料最佳含水率和最大干密度以二灰及细集料的最佳含水率为准；粗粒径石灰粉煤灰稳定再生级配集料的最大干密度按现行上海市工程建设规范 DG/TJ 08-87-2016 的附录 A 确定。

3 细粒径石灰粉煤灰稳定再生级配集料最佳含水率和最大干密度按现行行业标准 JTG E51 确定。

5.2.3 性能要求

1 粗粒径石灰粉煤灰稳定再生级配集料的强度以粒径小于 4.75mm 以下的二灰及细集料在 65℃ 恒温 24h 条件下快速法测定结果为准，快速法参考现行上海市工程建设规范 DG/TJ 08-87-2016 的附录 B，其浸水抗压强度应符合表 5 的规定。

表 5 粗粒径石灰粉煤灰稳定再生级配集料快速法抗压强度要求 (MPa)

结构层	道路等级	极重、特重交通	重交通	中、轻交通
基层	城市快速路、主干路 高速公路、一级公路	-	-	-
	其他等级城市道路与公路	≥1.8	≥1.5	≥1.2
底基层	城市快速路、主干路 高速公路、一级公路	≥1.8	≥1.5	≥1.2
	其他等级城市道路与公路	≥1.5	≥1.2	≥1.0

2 细粒径石灰粉煤灰稳定再生级配集料的强度以混合料的 7d 无侧限抗压强度为准，其强度应符合表 6 的规定，试件制备、养护和抗压强度测定应符合 JTG E51 的有关要求。

表 6 细粒径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	极重、特重交通	重交通	中、轻交通
基层	城市快速路、主干路	-	-	-

	高速公路、一级公路			
	其他等级城市道路与公路	≥ 0.9	≥ 0.8	≥ 0.7
底基层	城市快速路、主干路	≥ 0.8	≥ 0.7	≥ 0.6
	高速公路、一级公路			
	其他等级城市道路与公路	≥ 0.7	≥ 0.6	≥ 0.5

【条文说明】粗粒径石灰粉煤灰稳定再生级配集料和细粒径石灰粉煤灰稳定再生级配集料强度性能参照现行上海市工程建设规范 DG/TJ 08-87-2016 的规定。

3 石灰粉煤灰稳定再生级配集料的间接抗拉强度、抗压回弹模量、干缩性能应满足设计要求，无设计要求时，宜符合表 7 的规定，测试方法应分别符合现行 JTG E51 中 T0806、T0808 和 T0854 有关规定。

表 7 石灰粉煤灰稳定再生级配集料的间接抗拉强度、抗压弹性模量、干缩性能

180d 间接抗拉强度 (MPa)	180d 抗压回弹模量 (MPa)	总干缩系数 ($\times 10^{-6}$)
≥ 0.60	1000~3000	≤ 70

【条文说明】半刚性基层材料目前在组成设计和施工中控制指标主要为 7d 无侧限抗压强度，而抗拉性能更能反映应用中基层拉应力情况，其中间接抗拉强度（劈裂试验）操作方便，而且在现场测试时钻芯取样也简单，国外也都趋于用圆柱体试件（ $\phi 15\text{cm} \times 15\text{cm}$ ）的劈裂试验法；基层材料的抵抗变形能力与路面面层开裂破坏直接相关，要求基层材料要有足够的刚度和抵抗变形能力，因此对石灰粉煤灰稳定再生级配集料的抗压弹性模量进行要求，以使其更好地满足路用要求；以石灰粉煤灰稳定再生级配集料含大量再生集料，与同配比的天然集料结合料相比，吸水率大，最佳含水率高，干缩大，更易引起收缩开裂，因此对其干缩性能进行要求。以上三个性能的指标是在大量的理论和试验研究结果调研的基础上确定的。

4 石灰粉煤灰稳定再生级配集料的抗冻性能应满足设计要求，无设计要求时，用于中冰冻、重冰冻区道路基层宜符合下列规定：

中冰冻、重冰冻区道路基层 28d 龄期试件 5 次冻融循环后的残留抗压强度比不宜小于 70%。

注：冰冻区是以冻结指数为指标进行划分，重冻区不小于 $2000^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ ，中冻区 $800^{\circ}\text{C} \cdot \text{d} \sim 2000^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 。冻结指数每年冬季负温度与天数乘积的累计值 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$)。

【条文说明】中冰冻、重冰冻区道路基层抗冻性能要求参照现行行业标准《道路用建筑垃圾再生骨料无机混合料》JC/T 2281-2014。

5.3 水泥稳定再生级配集料

5.3.1 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，即水泥剂量=水泥质量/再生级配集料干质量。

5.3.2 原材料

1 水泥初凝时间应大于 3h，终凝时间应在 6h 以上且小于 10h；水泥质量应符合现行国家标准 GB175 的规定。

2 再生集料规格和性能应满足表 1 的要求，集料级配应符合设计要求，无具体要求时，可按表 8 选用，并应符合下列规定：

1) 用于城市快速路、主干路和高速公路、一级公路时，级配宜符合表 8 中 C-B-1、C-B-2 的规定。混合料密实时也可采用 C-B-3 级配。

2) 用于其他等级城市道路和公路基层和底基层时，级配宜符合表 8 中 C-C-1、C-C-2、C-C-3 的规定。C-C-1 级配宜用于基层和底基层，C-C-2 和 C-C-3 级配宜用于基层，C-C-3 级配宜用于极重、特重交通荷载等级下的基层。

3 水应符合 JGJ63 的规定。

表 8 水泥稳定再生级配集料的集料推荐级配范围 (%)

筛孔尺寸 (mm)	城市快速路、主干路 高速公路、一级公路			其他等级城市道路 与公路		
	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	83~67
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	31~22	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	5~2	5~2	3~0	7~2	7~2	7~2

【条文说明】水泥稳定再生级配集料的集料级配要求，参考现行行业标准《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 的规定。

5.3.3 配合比设计

水泥稳定再生级配集料中水泥的比例应符合表 9 的规定。

表 9 水泥稳定再生级配集料配合比

骨料等级	结构部位	水泥掺量 (%)	
		城市快速路、主干路 高速公路、一级公路	其他等级城市道路 与公路
I	基层	-	3~8
	底基层	3~7	3~6
II	基层	-	5~10
	底基层	5~8	3~8

【条文说明】根据现行行业标准《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20-2015，水泥稳定级配碎石用于基层时，要求 7d 无侧限抗压强度 $R_d \geq 5.0\text{MPa}$ 时，水泥推荐试验剂量最高 9%；要求 $R_d < 5.0\text{MPa}$ 时，水泥推荐试验剂量最高 7%；用于底基层时，水泥推荐试验剂量最高 7%。同时水泥的用量不应低于 3%。因再生集料强度较低，与同配比的水泥稳定级配碎石相比，水泥稳定再生级配集料 7d 无侧限抗压强度低，为达到强度要求，应增加水泥比例。另再生集料中再生混凝土颗粒比例较少，其压碎值更高，强度更低，因此水泥掺量会更多。根据验证试验结果，见下表：

骨料来源	骨料等级	水泥掺量，7d 无侧限抗压强度	水泥掺量，7d 无侧限抗压强度
-	再生混凝土颗粒 100%	3%，3.0MPa	5.5%，4.5MPa
良延环保	I（再生混凝土颗粒含量约 90%）	7.5%，5.4MPa	10%，8.3MPa
勤顺	II（再生混凝土颗粒含量约 50%）	7.5%，4.2MPa	10%，6.7MPa
宝钢	II（再生混凝土颗粒含量约 50%）	7.5%，4.9MPa	10%，6.5MPa
兴盛路基	II（再生混凝土颗粒含量约 70%）	7.5%，5.4MPa	10%，7.0MPa

结合上表和表 10 的技术要求，I 类再生骨料用于其他等级城市道路与公路的基层（ $R_d 2.0 \sim 6.0\text{MPa}$ ），水泥掺量宜控制在 3%~8%；I 类再生骨料用于其他等级城市道路与公路的底基层（ $R_d 1.0 \sim 4.5\text{MPa}$ ），

水泥掺量宜控制在 3%~6%； I 类再生骨料用于城市快速路、主干路高速公路、一级公路的底基层 (Rd2.0~5.0MPa)，水泥掺量宜控制在 3%~7%。

II 类再生骨料用于其他等级城市道路与公路的基层 (Rd2.0~6.0MPa)，水泥掺量宜控制在 5%~10%； II 类再生骨料用于其他等级城市道路与公路的底基层 (Rd1.0~4.5MPa)，水泥掺量宜控制在 3%~8%； II 类再生骨料用于城市快速路、主干路高速公路、一级公路的底基层 (Rd2.0~5.0MPa)，水泥掺量宜控制在 5%~8%。

5.3.4 性能要求

1 水泥稳定再生级配集料的强度以混合料的 7d 无侧限抗压强度为准，其强度应符合表 10 的规定，试件制备、养护和抗压强度测定应符合 JTG E51 的有关要求。

表 10 水泥稳定再生级配集料 7d 无侧抗压强度要求 (MPa)

结构层	道路等级	特重交通	重交通	中、轻交通
基层	城市快速路、主干路 高速公路、一级公路	-	-	-
	其他等级城市道路 与公路	4.0~6.0	3.0~5.0	2.0~4.0
底基层	城市快速路、主干路 高速公路、一级公路	3.0~5.0	2.5~4.5	2.0~4.0
	其他等级城市道路 与公路	2.5~4.5	2.0~4.0	1.0~3.0

【条文说明】水泥稳定再生级配集料强度性能参照现行上海市工程建设规范 DG/TJ 08-87-2016 的规定。

2 水泥稳定再生级配集料的间接抗拉强度、抗压回弹模量、干缩性能应满足设计要求，无设计要求时，宜符合表 11 的规定，测试方法应分别符合现行 JTG E51 中 T0806、T0808 和 T0854 有关规定。

表 11 水泥稳定再生级配集料的间接抗拉强度、抗压回弹模量、干缩性能

90d 间接抗拉强度 (MPa)	90d 抗压回弹模量 (MPa)	总干缩系数 ($\times 10^{-6}$)
0.50~1.0	1200~14000	≤ 200

【条文说明】7d 无侧限抗压强度指标不能完全反映水泥稳定材料实际破坏的力学特征，水泥稳定材料主要是被“拉坏”而非“压坏”，劈裂强度指标是更为接近水泥稳定材料实际破坏模型的力学指标，而且间接抗拉强度（劈裂试验）操作方便，在现场测试时钻芯取样也简单，国外也都趋于用圆柱体试件（ $\phi 15\text{cm} \times 15\text{cm}$ ）的劈裂试验法；基层材料的抵抗变形能力与路面面层开裂破坏直接相关，要求基层材料要有足够的刚度和抵抗变形能力，因此对水泥稳定再生级配集料的抗压弹性模量进行要求，以使其更好地满足路用要求；因水泥稳定再生级配集料含大量再生集料，与同配比的天然集料结合料相比，含水率

高，而且水泥稳定再生级配集料中水泥掺量大，更易引起收缩开裂，因此对其干缩性能进行要求。以上三个性能的指标是在大量的理论和试验研究结果调研的基础上确定的。

4 水泥稳定再生级配集料的抗冻性能应满足设计要求，无设计要求时，用于中冰冻、重冰冻区道路基层宜符合下列规定：

中冰冻、重冰冻区道路基层 28d 龄期试件 5 次冻融循环后的残留抗压强度比不宜小于 70%。

注：冰冻区是以冻结指数为指标进行划分，重冻区不小于 $2000^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，中冻区 $800^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\sim 2000^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。冻结指数每年冬季负温度与天数乘积的累计值 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)。

【条文说明】因水泥稳定再生级配集料含水率高、孔隙多，在中冰冻、重冰冻等冻害严重地区更易受冻融破坏，因此参照现行行业标准《道路用建筑垃圾再生骨料无机混合料》JC/T 2281-2014，对中冰冻、重冰冻区利用水泥稳定再生级配集料作为道路基层，提出抗冻性能要求。

6 结构组合及构造

6.1 一般规定

6.1.1 路面结构设计应根据道路等级、交通荷载、路基条件、环境温湿度以及使用性能要求，选择及组合与之相适应的道路路面结构，其中基层及各结构层的力学特性及其组成材料性质满足相应的功能要求。

【条文说明】路面结构层由面层、基层和底基层、垫层等结构层次组成，对各个结构层次有不同的功能要求。各个结构层可以由不同类型和性质的材料组成，各具有不同的力学特性。因而，基层等结构层所选择的组成材料，其性质要求和力学特性要满足各结构层的服役环境功能要求。

6.1.2 应充分考虑基层及其相邻结构层的相互作用、层间结合条件及要求，以及结构组合的协调与平衡。

【条文说明】选择和组合结构层时，对基层与上下层次的相互作用以及层间结合条件和要求应予以考虑，如基层与面层的刚度比，会否引起面层底面产生过大的拉应力；还有下面层次的透水性，会否引起基层、底基层的冲刷。

6.2 结构组合及构造

6.2.1 基层和底基层应具有足够的承载力、抗疲劳开裂性能和抗冲刷能力。

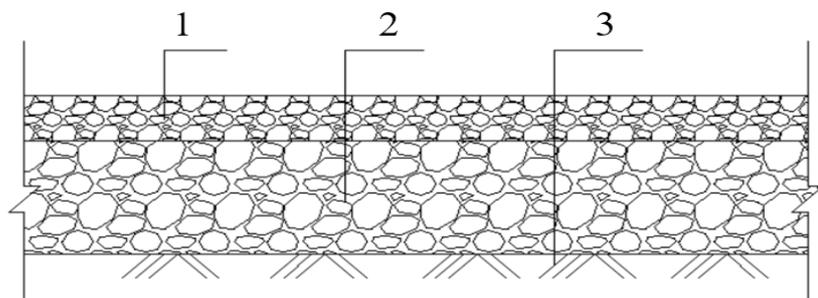
【条文说明】基层主要承受由面层传递下来的车辆荷载作用力，并将其扩散到下面的垫层和路基，因此应具有足够的承载力；在正常使用情况下，基层材料的抗拉强度远小于其抗压强度，在车辆荷载、温湿应力的重复作用下，当基层层底的弯拉应力超过其疲劳强度时，基层层底便产生裂缝，并逐渐向表面发展，因此应具备足够的抗疲劳性能；不耐冲刷的基层表面，在渗入水和荷载的共同作用下，会产生唧泥、错台等病害，导致路面不平整，并加速和加剧面层板的开裂与断裂。

6.2.2 基层和底基层的材料可根据交通荷载等级、结构层组合要求和材料供应条件，参照表 12 选用，路面结构按照面层的和基层可分为 8 种不同结构组合，如图 1 所示。

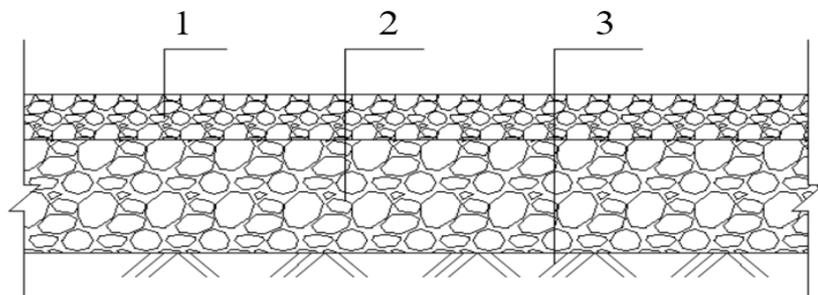
表 12 各交通荷载等级的基层材料类型

结构层	道路等级	极重、特重交通	重交通	中、轻交通
基层	城市快速路、主干路 高速公路、一级公路	-	-	-
	其他等级城市道路与公路	水泥稳定再生级配 集料	水泥稳定再生级配 集料	水泥稳定再生级配 集料、石灰粉煤灰稳

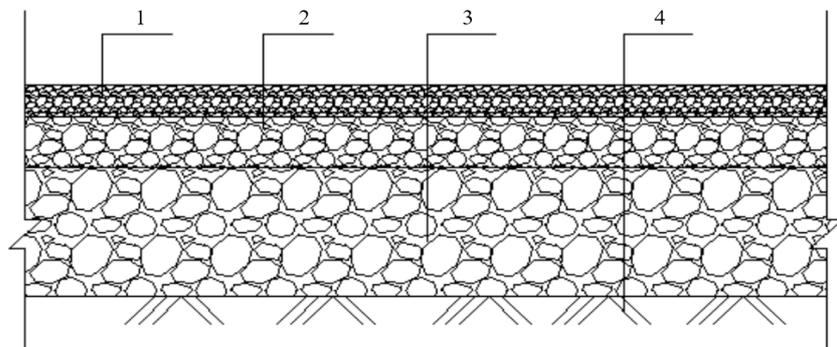
				定再生级配集料
底基层	城市快速路、主干路 高速公路、一级公路	水泥稳定再生级配集料、石灰粉煤灰稳定再生级配集料	水泥稳定再生级配集料、石灰粉煤灰稳定再生级配集料	水泥稳定再生级配集料、石灰粉煤灰稳定再生级配集料
	其他等级城市道路与公路	水泥稳定再生级配集料、石灰粉煤灰稳定再生级配集料	水泥稳定再生级配集料、石灰粉煤灰稳定再生级配集料	水泥稳定再生级配集料、石灰粉煤灰稳定再生级配集料



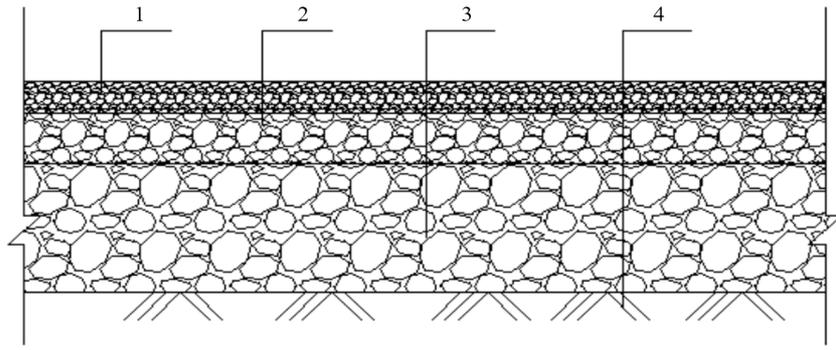
1- 沥青路面 2-水泥稳定再生级配集料基层 3-路基



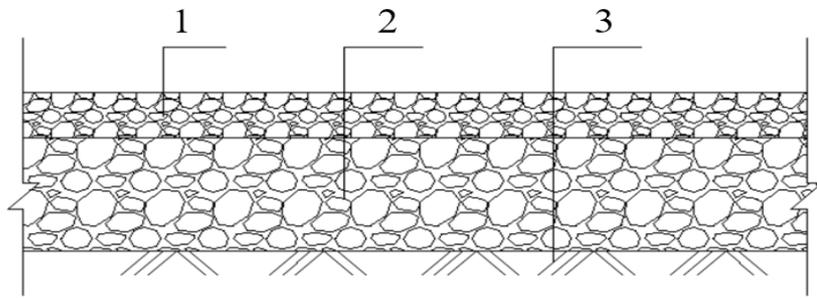
1- 沥青路面 2-石灰粉煤灰稳定再生级配集料基层 3-路基



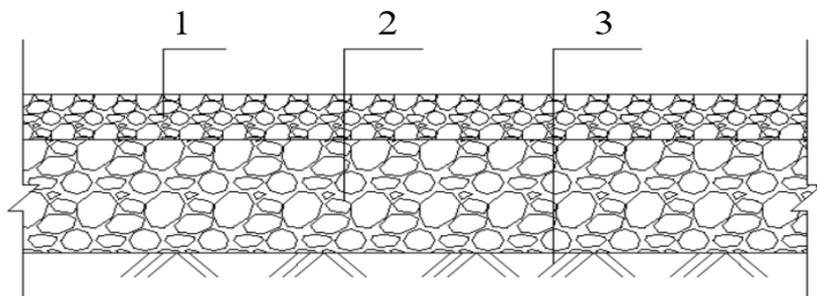
1- 沥青路面 2- 水泥稳定再生级配集料基层 3-水泥稳定再生级配集料底基层 4-路基



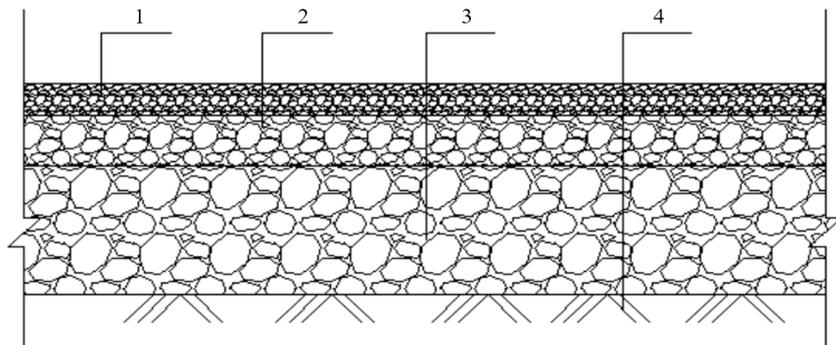
1- 沥青路面 2- 石灰粉煤灰稳定再生级配集料基层 3-石灰粉煤灰稳定再生级配集料底基层 4-路基



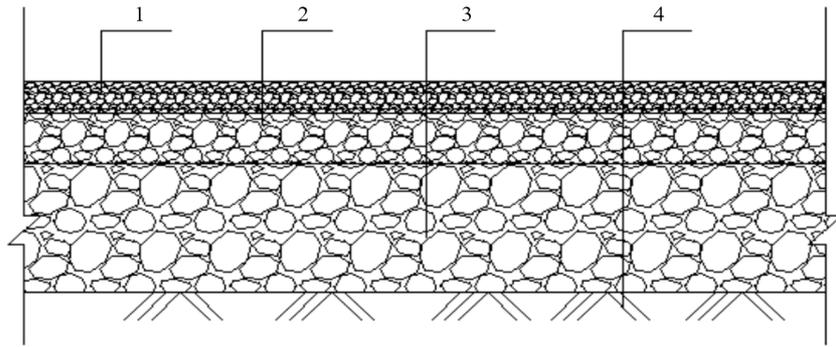
1- 水泥混凝土路面 2-水泥稳定再生级配集料基层 3-路基



1- 水泥混凝土路面 2-石灰粉煤灰稳定再生级配集料基层 3-路基



1- 水泥混凝土路面 2- 水泥稳定再生级配集料基层 3-水泥稳定再生级配集料底基层 4-路基



1- 水泥混凝土路面 2- 石灰粉煤灰稳定再生级配集料基层 3-石灰粉煤灰稳定再生级配集料底基层 3-路基

图 1 建筑垃圾再生级配集料基层路面结构

【条文说明】基层和底基层可以按照组成材料分为水泥稳定再生级配集料和石灰粉煤灰稳定再生级配集料。表 12 按照所承受的交通荷载等级提出了道路基层和底基层适应选用的再生集料类型，相应的结构组合如图 1。

6.2.3 承受极重、特重或重交通荷载的路面，基层下应设置底基层；承受中等或轻交通荷载时，可不设底基层。

【条文说明】为增加路面结构的弯曲刚度，降低面层的荷载应力，承受极重、特重或重交通荷载时，通常选用刚度较大的基层。

6.2.5 基层和底基层的结构适宜压实厚度，应按所选再生集料的公称最大粒径和压实效果要求而定。基层或底基层的设计层厚超出相应材料的适宜压实厚度范围时，宜分层铺设和压实。

【条文说明】各类基层和底基层的厚度范围，应根据结构层成型、施工或排水要求等因素选择，一般适宜厚度可参照现行规范《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTGD40)和《公路沥青路面设计规范》(JTG D50) 选择相应厚度。

7 施工

7.1 基层施工前应按规定对上道工序进行检查验收，符合要求后方可进行基层施工。

【条文说明】由于道路不同结构层属于隐蔽工程，因此在做基层结构施工前应对上道工序做好验收后方可进行基层施工。

7.3 水泥稳定再生级配集料，宜在 2h 内完成碾压成型，应取混合料的初凝时间和容许延迟时间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 4d。

【条文说明】水泥稳定再生级配集料应在水泥水化前进行碾压成型，石灰粉煤灰稳定再生级配集料由于活性较低、水化较慢，可在当天完成碾压，最长不得超过 4d。

7.4 建筑垃圾再生集料无机混合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。

【条文说明】过分潮湿的路段会改变建筑垃圾再生集料无机混合料的含水率，降低混合料的技术指标。

7.5 建筑垃圾再生集料无机混合料拌和、运输、摊铺、碾压应符合现行行业标准 JTG/TF20 规定。

8 验收

8.1 原材料验收

8.1.1 水泥、粉煤灰以及石灰的品种、级别、质量、包装和贮存，应符合国家现行有关标准的规定。出厂超过三个月时，应进行复验，复验合格后方可使用。

【条文说明】基层工程施工采用的原材料应按照国家及行业相关标准进行检验和复验后方可使用。

8.1.2 道路基层用建筑垃圾再生集料应符合本规程表 1 的要求。

8.2 工程质量和竣工验收

8.2.1 施工前，施工单位应同建设单位、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。

【条文说明】道路工程因地域不同、特点不同，分项工程的数量和内容会有所不同，因此每一项工程施工前，施工单位应同建设单位、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。

8.2.2 施工过程中应按照现行行业标准 CJJ1 要求控制施工质量，并应进行施工过程的检验、验收。

【条文说明】规定了道路基层施工过程中质量的控制和验收，按照现行行业标准《城镇道路施工与验收规范》CJJ1 要求进行。

8.2.3 工程竣工验收，应由建设单位组织验收组进行。验收组应由建设、勘察、设计、施工、监理、设施管理等单位的负责人进行，亦可邀请有关方面专家参加。验收组长应由建设单位担任。工程竣工验收应在构成道路的各分项工程、分部工程、单位工程质量验收均合格后进行。当设计规定进行道路弯沉试验、荷载试验时，验收必须在试验完成后进行。道路工程竣工资料应于竣工验收前完成。

【条文说明】规定了建设单位（项目）负责人负责组织施工（含分包单位）、勘察、设计、监理等单位（项目）负责人进行单项工程竣工验收。

8.2.4 当参加验收各方对工程质量验收意见不一致时，应由政府行业行政主管部门或质量监督机构协调解决。

【条文说明】规定了参加验收各方对工程质量验收意见由分期时的处理程序。

8.2.5 工程竣工验收合格后，建设单位应按规定将工程竣工验收报告和有关文件，报政府行政主管部门备案。

【条文说明】单位工程竣工质量验收合格后，建设单位应在规定时间内将工程竣工验收报告和有关文件报行政主管部门备案。

附录 A

(规范性附录)

建筑垃圾再生集料（4.75mm 以上部分）再生混凝土颗粒含量和杂物含量试验方法

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

集料最大公称粒径/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 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 规定的方法取样，将试样过 4.75mm 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 4.75mm 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 试验结果取两次平行试验的平均值，精确至 0.1%。

本规程用词说明

一、执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词，采用以下写法：

1 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，

反面词采用“不宜”。

4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

二、规程中指明应按其他标准、规范或规定执行的写法为“应按……执行”或“应符合……的要求或规定”。

引用标准名录

- 1 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 2 《地表水环境质量标准》 GB 3838
- 3 《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》 GB 5085.3
- 4 《建设用碎石、卵石》 GB/T 14684
- 5 《建设用砂》 GB/T 14685
- 6 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 7 《公路土工试验规程》 JTG E40
- 8 《公路工程集料试验规程》 JTG E42
- 9 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51
- 10 《公路路面基层施工技术细则》 JTG/T F20
- 11 《城镇道路工程施工与质量验收规范》 CJJ1
- 12 《道路、排水管道成品与半成品施工及验收规程》 DG/TJ 08-87