

生活垃圾焚烧炉渣集料在公路工程中应用 施工技术规范

Construction specification for the application of municipal solid waste incineration
bottom ash aggregate in highway engineering

2019-09-19 发布

2019-10-31 实施

江苏省市场监督管理局 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 2

5 总则 3

6 炉渣集料 3

7 炉渣稳定土路基 4

8 水泥稳定炉渣碎石基层 7

9 炉渣集料沥青混合料面层 12

附录 A（规范性附录） 水泥稳定炉渣碎石混合料配合比设计方法 18

附录 B（规范性附录） 炉渣集料沥青混合料配合比设计方法 22

前 言

本标准按GB/T1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》要求的规则起草。

本标准由江苏省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：南京市浦口区交通运输局、江苏中路工程技术研究院有限公司、江苏中路工程检测有限公司、南京浦江工程检测有限公司、江苏天合嘉能再生资源有限公司。

本标准主要起草人：成永来、张志祥、龚惠龙、张磊、刘绪田、杜骋、成相飞、张万磊、何文政、关永胜、孙雪伟、叶小庆、孙晗、邵招娣、嵇李梅、杨德荣、张雪、殷荣华、许福建、周婷。

生活垃圾焚烧炉渣集料在公路工程中应用施工技术规范

1 范围

本标准规定了生活垃圾焚烧炉渣集料在公路工程中应用施工技术的术语和定义、符号、总则、在公路路基、基层、面层中的技术要求。

本标准主要适用于新建（改扩建）公路的路基、基层及面层的设计、施工及验收。

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，其最新版本适用于本文件。

GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
GB 5749 生活饮用水卫生标准
GB 6556 机械密封的型式、主要尺寸、材料和识别标志
GB 18485 生活垃圾焚烧污染控制标准
GB/T 25032 生活垃圾焚烧炉渣集料
JTG D30 公路路基设计规范
JTG D50 公路沥青路面设计规范
JTG E20 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
JTG E30 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
JTG E40 公路土工试验规程
JTG E42 公路工程集料试验规程
JTG E51 公路工程无机结合料稳定材料试验规程
JTG E60 公路路基路面现场测试规程
JTG F10 公路路基施工技术规范
JTG/T F20 公路路面基层施工技术细则
JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
JTG F80-1 公路工程质量检验评定标准 第一册土建工程施工标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

生活垃圾焚烧炉渣集料 municipal solid waste incineration bottom ash aggregate

生活垃圾经焚烧、破碎、筛分、磁选、跳汰、沉淀等一系列工艺之后所得到的集料，具有一定的颗粒级配，简称“炉渣集料”。

3.2

炉渣稳定土 bottom ash aggregate stabilized soil

一定数量的炉渣集料和土加入适量的水，经拌和得到的混合料，再经压实、养生，当其性能指标满足规定要求时，称为炉渣稳定土。

3.3

水泥稳定炉渣碎石 cement stabilized bottom ash aggregate

一定数量的水泥、碎石、炉渣集料和水，经拌和得到的混合料，在压实和养生后，当其性能指标满足规定的要求时，称为水泥稳定炉渣碎石。

3.4

炉渣集料沥青混合料 asphalt mixture with bottom ash aggregate

一定数量的炉渣集料替代部分岩石细集料，加入矿料与沥青胶结料拌和而成的沥青混合料，称为炉渣集料沥青混合料。

3.5

炉渣稳定土路基 bottom ash aggregate stabilized soil subgrade

由炉渣稳定土填筑的路基。

3.6

水泥稳定炉渣碎石基层 cement stabilized bottom ash aggregate base

由水泥稳定炉渣碎石铺筑的路面基层。

3.7

炉渣集料沥青混合料面层 asphalt mixture surface with bottom ash aggregate

由炉渣集料沥青混合料铺筑的沥青面层。

4 符号

下列符号适用于本文件

CBR—承载比

OAC—最佳油石比 (%)

ρ_w —混合料的湿密度 (g/cm^3)

m_1 —试筒与湿试样的合质量 (g)

m_2 —试筒的质量 (g)

V—试筒的容积 (cm^3)

ρ_d —混合料的干密度 (g/cm^3)

ω —混合料的含水量 (%)

R_c —试件的无侧限抗压强度 (MPa)

P—试件破坏时的最大压力 (N)

A—试件的截面积 (mm^2)

R_d —抗压强度代表值 (MPa)

$\bar{R}$ —该组试件抗压强度的平均值 (MPa)

Z_a —保证率系数，高速公路和一级公路应取保证率 95%， $Z_a=1.645$ ，其他公路应取保证率 90%，

$Z_a=1.282$

C_v —试验结果的变异系数 (以小数计)

VV—空隙率 (%)

VMA—马歇尔试件的矿料间隙率 (%)

VCA_{mix}—混合料中骨架间隙率 (%)

VFA—沥青饱和度（%）

γ_{ca} —混合毛体积相对密度，无量纲

P_1 、 P_2 —分别为1号料和2号料用量

γ_1 、 γ_2 —分别为1号和2号料的毛体积相对密度，无量纲

γ_t —混合料体积指标的最大相对理论密度，无量纲

P_a —混合料油石比（%）

γ_{se} —矿料合成有效相对密度，无量纲

γ_a —沥青的相对密度，无量纲

P_s —沥青混合料中除沥青外全部矿料占沥青混合料的质量百分率，即（100—沥青用量）（%）

P_{ca} —沥青混合料中粗集料的比例，即大于4.75mm的颗粒占沥青混合料的质量百分率（%）

γ_{sb} —矿料的合成毛体积相对密度，无量纲

γ_{sa} —矿料的合成表观相对密度，无量纲

γ_f —混合毛体积相对密度，无量纲

5 总则

5.1 为规范炉渣集料在公路路基、基层和面层中的应用，应坚持“标准化、规范化、精细化”的原则。

5.2 本规程包括原材料技术要求、混合料技术要求、配合比设计、施工方法和施工过程中的质量管理等。

5.3 炉渣集料在路基、基层、面层中施工应服从于质量、施工环境温度、材料准备等相关要求。

5.4 炉渣集料在公路工程中应用除应符合本规程的规定外，尚应符合国家、行业颁布的其他相关标准、规范的规定。

6 炉渣集料

6.1 一般规定

6.1.1 炉渣集料应符合GB/T 25032相关要求。

6.1.2 炉渣集料在使用前应进行质量检验，经检验合格后方可使用。

6.1.3 炉渣集料的选择应先进行料源调查，料源厂家应具备炉渣集料生产相应资质和条件。

6.1.4 炉渣集料出厂应干燥。

6.1.5 炉渣集料露天堆放应进行覆盖或存入料仓，确保其含水量处于稳定状态。

6.1.6 炉渣集料生产厂家应每年提供相应的炉渣集料有害物质含量检测报告。

6.2 技术要求

6.2.1 炉渣集料中有害物质含量应满足如下要求：

6.2.1.1 放射性检测应符合GB 6556的要求。

6.2.1.2 重金属毒性检测应符合GB 5085.3的要求。

6.2.1.3 热灼减率检测应符合GB 18485的要求。

6.2.2 炉渣集料用于基层、面层中替代部分原材料，其规格如表1所示。

表 1 炉渣集料规格

规格	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)						
	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
炉渣集料	100	80~100	50~80	25~60	8~45	0~25	0~15

注：炉渣集料规格在生产过程中应保持稳定，筛孔通过率变化幅度不得大于5%。

6.2.3 炉渣集料的技术要求如表2所示。

表 2 炉渣集料技术要求

检 测 项 目		技术要求	试验方法
炉渣集料含水量（%）	不大于	2	T0332
表观相对密度（-）	不小于	2.5	T0328
坚固性（>0.3mm 部分）（%）	不小于	12	T0340
亚甲蓝值（g/kg）	不大于	25	T0349
棱角性（流动时间）（s）	不小于	30	T0345

6.2.4 炉渣集料的含杂量应满足表3所规定的技术要求。

表 3 炉渣集料含杂量技术要求

检 测 项 目	技术要求	试验方法
含铁量 (%)	< 2	GB/T 25032
轻飘物 (%)	≤ 0.2	GB/T 25032

注：轻飘物是指集料在密度1.1kg/L溶液中漂浮的固体物质。

7 炉渣稳定土路基

7.1 一般规定

7.1.1 路基施工前，应在全面理解设计要求和设计交底的基础上，进行现场调查和核对。

7.1.2 在详尽的现场调查后，应根据设计要求、合同、现场情况等，编制施工组织设计，并按管理规定报批。

7.1.3 路基开工前应建立健全质量、环保、安全管理体系和质量检测体系，并对各类施工人员进行岗位培训和技术、安全交底。

7.1.4 路基施工应做好临时性排水设施与永久性排水设施相衔接。

7.1.5 炉渣集料应用于公路路基中，根据土性质，原则上掺量不超过炉渣稳定土总质量的 30%。

7.2 材料要求

路基填料应符合 JTGF10 的相关要求，炉渣集料满足本标准 6.2.4 相关要求。

7.3 炉渣稳定土路基配合比设计

7.3.1 宜从炉渣掺量 30%开始选取，制备炉渣稳定土混合料进行重型击实试验，确定炉渣稳定土的最佳含水量和最大干密度。

7.3.2 进行炉渣稳定土 CBR 试验，根据 CBR 强度要求，选择最佳炉渣集料掺量。

7.4 试铺路段

7.4.1 正式开工之前，应进行炉渣稳定土试铺，试铺路段长度不少于 100m。

7.4.2 试铺路段应决定以下主要内容：

- a) 用于施工原材料质量和混合料配合比;
- b) 混合料的松铺系数及合适的松铺厚度;
- c) 适宜的施工方法, 应包括:
 - 1) 混合料的摊铺方法和适用的机械及工具;
 - 2) 合适的拌和机械、拌和方法、拌和深度及拌和遍数;
 - 3) 合适的整平、整形机具和工艺方法;
 - 4) 压实机具的选择与组合, 压实的顺序、速度和遍数;
 - 5) 拌和、运输、摊铺和碾压机械的协调与配合。
- c) 每一作业段的合适长度;
- d) 确定施工组织及管理体系、人员等。

7.5 炉渣稳定土路基施工

7.5.1 施工要点

7.5.1.1 炉渣集料进场应进行现场覆盖或仓内堆放, 不得淋雨或浸水。

7.5.1.2 炉渣稳定土应充分拌和, 拌和完成后应采用 EDTA 滴定法对炉渣稳定土的拌和均匀性进行检测, 检测合格后方可使用。

表 4 炉渣掺量的检测标准

检查项目	质量标准		检查规定	
	规定值或允许偏差	质量要求	频率	方法
炉渣掺量 (%)	±2	设计掺量	2 处/100m	EDTA 滴定法

7.5.1.3 路基碾压前进行含水量检测, 宜不超过最佳含水量 1%。

7.5.1.4 碾压完成后应尽快进行下一道工序施工。

7.5.2 施工流程

炉渣稳定土路拌法施工流程如下:

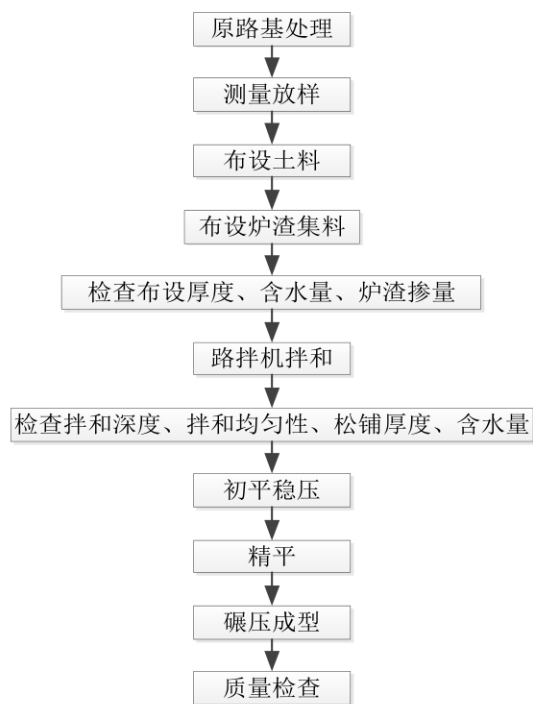


图 1 炉渣稳定土路拌法施工流程图

7.5.3 原路基处理

将原地面进行整平压实，经自检合格后进行测量放样再进行路基的填筑施工。二级及二级以上公路路基基底的压实度应不小于 90%，其他公路应不小于 85%。

7.5.4 测量放样

7.5.4.1 根据设计的路基宽度和填筑高度、边坡坡度加上超宽度放出该桩号的坡线脚，钉上钢纤。

7.5.4.2 根据确定的松铺厚度，在钢纤上挂线，每层填筑应执行“划格上土、挂线施工”。

7.5.5 材料布设

7.5.5.1 根据用土比例和每车土量将土运送到指定位置，均匀卸在路槽顶面，并用推土机和平地机初平，用轻型压路机稳压一遍。

7.5.5.2 炉渣集料在使用前应保持一定的干燥，按照设定掺量，均匀摊平。

7.5.5.3 需外掺消石灰（水泥）时，应均匀布撒。

7.5.6 拌和

7.5.6.1 炉渣集料布料后应在当天采用路拌机进行拌和。拌和过程中应注意混合料的含水量和拌和深度，应拌至路基表面，宜侵入路基表面（5~10）mm，不得出现素土夹层；随时检查拌和均匀性，不允许出现花白条带；土块应打碎，最大尺寸应不大于 15mm。

7.5.6.2 检查松铺厚度、混合料含水量和炉渣掺量。

7.5.6.3 拌和好的混合料不得过夜，应当天碾压成型。

7.5.7 碾压

7.5.7.1 用轻型压路机或履带推土机碾压一遍，再用平地机进行整平、整形，经检查达到规定标高后再进行压实。

7.5.7.2 碾压施工根据试铺路段确定的碾压工艺进行，达到规定的压实度。

7.5.7.3 碾压应遵循由路边向路中、先轻后重，低速行驶碾压的原则，避免出现推移、起皮和漏压的现象。

7.4.7.4 碾压段落的末端，压路机不得急刹、急停，以防止土料推移，造成接头处表面不平整。

7.6 质量管理

7.6.1 施工质量检查

7.6.1.1 炉渣集料掺量测定应在拌和后取样，送至工地试验室进行滴定试验。

7.6.1.2 碾压过程中应随时对炉渣稳定土路基进行外观检查，路基表面应平整密实，边线顺直，边坡坡面平整，稳定。无坑洼松散和弹簧现象，无碾压轮迹。

7.6.1.3 压实度检测应在碾压结束后进行，对于小于规定值的测点应立即进行处理，直至全部测点符合要求为止。

7.6.2 施工质量标准

炉渣稳定土填筑至设计标高并修整完成后，应进行施工质量检查，主要的检查项目有：压实度、纵断高程、平整度、中线偏位、宽度、横坡、边坡，质量标准如表 5 所示。

表 5 炉渣稳定土路基质量标准

检查项目	规定值或允许偏差		检查方法和频率	
	高速公路、一级公路	其他公路	频率	方法
压实度 (%)	不小于设计值	不小于设计值	2 处/200m/层	灌砂法
弯沉 (0.01mm)	不大于设计值	不大于设计值	/	/
平整度 (mm)	≤15	≤20	2 处/200m	三米直尺，连续 5 尺
纵断高程 (mm)	+10, -15	+10, -20	2 点/200m	水准仪
宽度 (mm)	不小于设计值	不小于设计值	4 处/200m	丈量
横坡 (%)	±0.3	±0.5	2 断面/200m	水准仪
中线偏位 (mm)	50	100	2 点/200m	全站仪
边坡	满足设计要求		4 点/200m	丈量

8 水泥稳定炉渣碎石基层

8.1 一般规定

8.1.1 水泥稳定炉渣碎石基层应采用集中厂拌、摊铺机摊铺、压路机碾压密实的施工工艺。

8.1.2 水泥稳定炉渣碎石基层施工时，应采用分层施工方法，分层压实厚度宜不超过 20cm，不小于 15cm。

8.1.3 在正式施工前，应铺筑试铺段，对施工工艺进行总结，试铺段的质量检查频率应是正常路段的 2 倍~3 倍。

8.1.4 基层施工前，应对混合料进行配合比设计。在施工过程中，不得随意变更经设计确定的配合比。

8.1.5 在拌和、运输和摊铺过程中，应采取各种有效措施，防止水泥稳定炉渣碎石混合料在施工中出现离析，对已经出现的离析应在碾压前将其铲除重铺。

8.1.6 宜避免在雨季施工，且不应在雨天施工。

8.1.7 水泥稳定炉渣碎石基层的施工期宜在冰冻到来半个月前结束，并尽量避免在高温季节施工。

8.1.8 炉渣集料掺量宜为集料总质量的 20%~30%。

8.2 材料要求

8.2.1 水泥

水泥应符合 JTG/T F20 的相关要求。

8.2.2 碎石及炉渣集料

8.2.2.1 碎石应符合 JTG/T F20 的相关要求。

8.2.2.2 炉渣集料满足本规程第 6 条相关要求。

8.2.2.3 对 0mm~2.36mm 和 0mm~4.75mm 的细集料应分别严格控制大于 2.36mm 和 4.75mm 的颗粒含量。对 2.36mm~4.75mm 的细集料应严格控制小于 2.36mm 的颗粒含量。

8.2.3 水

符合现行 GB 5749 的饮用水可直接作为基层拌和与养护用水。

8.3 水泥稳定炉渣碎石混合料配合比设计

8.3.1 水泥稳定炉渣碎石混合料的配合比设计包括：根据规定的材料指标要求，通过试验选取合适的碎石、炉渣集料和水泥；确定合理的集料配合比例；确定水泥剂量和用水量以及混合料最大干密度和最佳含水量。

8.3.2 为减少基层裂缝，应做到三个限制：在满足设计强度的基础上限制水泥用量；同时限制细集料、炉渣集料、粉料用量；根据施工时气候条件限制含水量。施工中水泥剂量应不大于 5.5%、合成集料级配中 0.075 mm 以下颗粒含量宜不大于 4%、碾压时含水量宜不超过最佳含水量的 1%。

8.3.3 水泥稳定炉渣碎石混合料目标配合比设计完成后，应调试水泥稳定碎石拌和机，进行生产配合比设计，使拌制的水泥稳定炉渣碎石混合料符合配合比设计要求。

8.3.4 混合料配合比设计的步骤

8.3.4.1 取工地实际使用的天然碎石集料和炉渣集料，分别进行水洗筛分，根据设计文件中炉渣集料的质量百分比范围，并按颗粒组成进行计算，确定各种集料的组成比例。

8.3.4.2 取工地使用的水泥，按不同水泥剂量分组试验。一般水泥剂量按 3.5%~5.5% 范围，分别取 4~5 种比例（以集料质量为 100）制备混合料，用重型击实法确定各组混合料的最佳含水量和最大干密度。

8.3.4.3 根据确定的最佳含水量，拌制水泥稳定炉渣碎石混合料，按要求压实度（重型击实标准，98%）制备混合料试件，在标准条件下养护 6d，浸水 1d 后取出，进行无侧限抗压试验。

8.3.4.4 根据 7d 浸水无侧限抗压强度设计要求，确定水泥稳定炉渣碎石的生产配合比。

8.4 铺筑试铺段

8.4.1 正式开工之前，应进行试铺。试铺段长度宜为 300m~600m，每一种试铺方案 150m~300m。

8.4.2 通过试铺段主要决定以下内容：

8.4.2.1 验证用于施工的混合料配合比，包括以下内容：

a) 调试拌和机，分别称出拌缸中不同规格的碎石、炉渣集料、水泥、水的重量，评价其计量的准确性；

- b) 调整拌和时间, 保证混合料均匀性;
- c) 检查混合料含水量、集料级配、水泥剂量、7d 无侧限抗压强度;
- d) 确定一次铺筑合适的松铺厚度和松铺系数。

8.4.2.2 确定标准施工方法, 包括以下内容:

- a) 混合料配合比的管理;
- b) 混合料摊铺方法和适用机具(包括摊铺机的行进速度、摊铺厚度的控制方式、梯队作业时摊铺机的间隔距离);
- c) 含水量的调整和管理方法;
- d) 压实机械的选择和组合, 压实的顺序、速度和遍数;
- e) 拌和、运输、摊铺和碾压机械的协调配合;
- f) 确定每一作业段的合适长度。

8.5 水泥稳定炉渣碎石基层施工

8.5.1 施工要点

8.5.1.1 施工前应对作业面表面进行清理, 并将作业面表面洒水湿润。

8.5.1.2 开始摊铺的前一天要进行测量放样, 按摊铺机宽度与传感器间距, 做出标记, 打好导向控制线支架。根据松铺厚度, 确定导向控制线高度, 挂好导向控制线, 用于控制摊铺机摊铺厚度的控制线钢丝的拉力应不小于 800N。

8.5.1.3 水泥稳定炉渣碎石基层压实完成后应进行覆盖养生, 下层水泥稳定炉渣碎石施工结束 7d 后方可进行上层水泥稳定炉渣碎石的施工。

8.5.2 混合料的拌和

8.5.2.1 混合料的拌和能力与混合料摊铺能力应相匹配。

8.5.2.2 开始拌和前, 拌和场的备料应充分, 保证能够连续摊铺的用量。

8.5.2.3 拌和机各料仓开口大小和皮带计量精度应事先标定, 并在施工过程中经常检查和调整。

8.5.2.4 炉渣集料应单独一个仓口, 使用前保持炉渣集料和碎石集料的干燥, 防止进料口堵塞。

8.5.2.5 每天开始搅拌前, 应检查场内各料仓集料的含水量, 计算当天的施工配合比, 外加水与天然含水量的总和要比最佳含水量略高。同时, 在充分估计施工富余强度时要从缩小施工偏差入手, 不得以提高水泥用量的方式提高路面基层强度。

8.5.2.6 每天开始搅拌之后, 按规定取混合料试样检查级配和水泥剂量; 随时在线检查配比、含水量是否变化。高温作业时, 早晚与中午的含水量要有区别, 要按温度变化及时调整。

8.5.2.7 拌和机出料不允许采取自由跌落式的落地成堆、装载机装料运输的办法。应配备带活门漏斗的料仓, 成品混合料先装入料仓内, 由漏斗出料装车运输, 装车时车辆应前后移动, 分三次装料, 避免混合料离析。

8.5.3 混合料的运输

8.5.3.1 运输车辆在每天开工前, 要检验其完好情况, 装料前应将车厢清洗干净。运输车辆数量一定要满足拌和出料与摊铺需要, 并略有富余。

8.5.3.2 应尽快将拌成的混合料运送到铺筑现场。车上的混合料应覆盖, 减少水分损失。如运输车辆中途出现故障, 应立即以最短时间排除; 当车内混合料不能在水泥初凝时间内运到工地摊铺压实, 应予以废弃。

8.5.4 混合料的摊铺

8.5.4.1 摊铺前应先将底基层洒水湿润；对于下基层表面，应喷洒水泥净浆，按水泥质量计，宜不少于 $(1.0 \sim 1.5) \text{ kg/m}^2$ 。水泥净浆稠度以洒布均匀为度，洒布长度以不大于摊铺机前 $30\text{m} \sim 40\text{m}$ 为宜。

8.5.4.2 摊铺前应检查摊铺机各部分运转情况，而且每次施工应坚持重复此项工作。

8.5.4.3 调整好传感器臂与控制线的关系；严格控制基层厚度和高程，保证路拱横坡度满足设计要求。

8.5.4.4 摊铺机宜连续摊铺。如拌和机生产能力较小，应采用最低速度摊铺，禁止摊铺机停机待料。摊铺机的摊铺速度一般宜在 1m/min 左右。

8.5.4.5 摊铺机的螺旋布料器应有三分之二埋入混合料中。

8.5.4.6 在摊铺机后面应设专人检查混合料离析现象，应铲除局部粗集料过多的铺层，并用新拌混合料填补。

8.5.5 混合料的碾压

8.5.5.1 每台摊铺机后面，应紧跟振动压路机和轮胎压路机进行碾压，一次碾压长度一般为 $50\text{m} \sim 80\text{m}$ 。碾压段落应层次分明，设置明显的分界标志。

8.5.5.2 碾压应遵循试铺路段确定的程序与工艺。注意稳压要充分，振压不起浪、不推移。压实时，遵循钢轮（遍数适中，压实度达到 90%）振动稳压到胶轮稳压的程序，压至无轮迹为止。碾压完成后用灌砂法检测压实度，压实度检查所用的标准密度应采用重型击实最大干密度。

8.5.5.3 碾压宜在水泥初凝前及试验确定的延迟时间内完成，并达到要求的压实度。

8.5.5.4 压路机碾压时应重叠 $1/2$ 轮宽。

8.5.5.5 压路机换挡要轻且平顺，不要拉动基层，在第一遍初步稳压时，倒车后尽量原路返回，换挡位置应在已压好的段落上，在未碾压的一头换挡倒车位置应错开，成齿状，出现个别拥包时，应设专人进行铲平处理。

8.5.5.6 压路机碾压时的行驶速度，第 $1 \sim 2$ 遍为 $(1.5 \sim 1.7) \text{ km/h}$ ，以后各遍应为 $(1.8 \sim 2.2) \text{ km/h}$ 。

8.5.5.7 压路机停车要错开，相隔间距不小于 3m ，应停在已碾压好的路段上。

8.5.5.8 严禁压路机在已完成碾压的或正在碾压的路段上调头和急刹车。

8.5.5.9 为保证水泥稳定炉渣碎石基层边缘压实度，应有 100mm 的超宽压实；对用方木或型钢模板支撑时，超宽可适当减小。

8.5.6 横缝设置

8.5.6.1 水泥稳定碎石混合料摊铺时，应连续作业，如因故中断时间超过 2h ，则应设横缝；每天收工之后，第二天开工的接头断面也要设置横缝；每当通过桥涵，特别是明涵，明通，在其两边需要设置横缝，基层的横缝最好与桥头搭板尾端吻合。需特别注意桥头搭板前水泥稳定炉渣碎石的碾压。

8.5.6.2 横缝应与路面车道中心线垂直设置，接缝断面应是竖向平面，压路机碾压完毕，沿端头斜面开到下承层上停机过夜。

8.5.6.3 第二天将压路机沿斜面开到前一天施工的基层上，用三米直尺纵向放在接缝处，定出基层面离开三米直尺的点作为接缝位置，沿横向断面挖除坡下部分混合料，清理干净后，摊铺机从接缝处起步摊铺。

8.5.6.4 压路机沿接缝横向碾压，由前一天压实层上逐渐推向新铺层，碾压完毕再纵向正常碾压。

8.5.6.5 碾压完毕，接缝处纵向平整度应符合相关要求。

8.5.7 养生及交通管制

8.5.7.1 每一段碾压完成以后应立即进行质量检查，并开始养生。

8.5.7.2 养生方法：将麻布或透水无纺土工布湿润，然后人工覆盖在碾压完成的基层顶面，覆盖 2 小时后，再用洒水车洒水；或用塑料薄膜覆盖养生。在 7d 内应保持基层处于湿润状态，28d 内正常养护。养生结束后，应将覆盖物清除干净。

8.5.7.3 洒水养生时，洒水车的喷头应为喷雾式，不得用高压式喷管，以免破坏基层，每天洒水次数应视气候而定，养生期间应始终保持水泥稳定炉渣碎石层表面湿润。

8.5.7.4 基层养生期前 7d，洒水车应在另外一侧车道上行驶，工人手持水龙带，跨过中分带喷洒养生水。

8.5.7.5 在养生期间应封闭交通。

8.6 质量管理

8.6.1 施工质量检查

8.6.1.1 水泥剂量的测定应在拌和后取样，并立即（一般不得大于 10min）送到工地试验室进行滴定试验。

8.6.1.2 除按要求用滴定法检测水泥剂量之外，还应进行总量控制检测，记录每天的实际水泥用量、集料用量和实际工程量，计算对比水泥剂量检测的准确性。

8.6.1.3 混合料集料级配检验和抗压强度检验应在拌和厂按规定方法取样，配合水泥剂量测定进行水洗法筛分，在与基层碾压的同时制备抗压强度试件。

8.6.1.4 从料堆和皮带运输机随时目测各种材料的质量和均匀性，检查集料和混合料的离析情况。

8.6.1.5 施工过程中应随时对基层进行外观检查，基层表面平整密实，无坑洼、无明显离析现象。施工过程中应随时用三米直尺检测基层表面的平整度和接缝、与构造物连接处的平整度。

8.6.1.6 施工厚度的检测按以下方法执行，并相互校核，当差值较大时通常以实测厚度为准：

- a) 在摊铺过程中不断用插尺测量松铺厚度；
- b) 利用混合料总生产量与实际铺筑的面积计算平均厚度进行总量检验；
- c) 利用灌砂法检测压实度时，通过量取挖坑的深度进行检测。

8.6.1.7 压实度检查应在碾压结束后立即进行，对于小于规定值的测点应立即进行处理，直到全部测点符合要求为止。

8.6.1.8 碾压结束后宜采用灌砂法进行压实度的质量检查。在养护到期后，随机选点钻取芯样，并进行强度检测。

8.6.2 施工质量标准

水泥稳定炉渣碎石基层施工质量应符合表 6 的要求。

表 6 水泥稳定炉渣碎石基层施工过程质量标准

检测项目		质量标准		检查规定		
		要求值或容许误差		外观要求	频率	方法
		高速公路、 一级公路	其他公路			
压实度（%）		不小于 98	不小于 97		4 处/200m/层	每处每车道测一点，用灌砂法检测，采用重型击实标准
平整度（mm）		≤8	≤12	平整、无起伏	2 处/200m	三米直尺连续测量 10 尺，每尺取最大间隙
纵断高程（mm）		+5， -10	+5， -15	平整顺适	1 断面/20m	用水准仪测量
厚度 （mm）	代表值	-8	-10	均匀一致	1 处/200m/车道	每处 3 点
	合格值	-10	-20			
宽度（mm）		不小于设计值		边缘线整齐、顺适， 无曲折	1 处/40m	用皮尺丈量
横坡度（%）		±0.3	±0.5		3 断面/100m	用水准仪测量
水泥剂量（%）		±0.5			6 个以上样品/ 每 2000m ²	EDTA 滴定及总量校核
级配 （%）	0.075mm	±2			1 次/2000m ²	拌和机混合料输送皮带上取样
	2.36mm	±4				
	4.75mm	±6				
强度（MPa）		代表值不小于设计值			2 组/d	7d 无侧限抗压强度
含水量（%）		最佳含水量-1～+2			随时	炒干法
外观要求		表面平整密实，无浮石、弹簧现象；无明显压路机轮迹				
取芯要求		14d 龄期时应取出完整芯样				

9 炉渣集料沥青混合料面层

9.1 一般规定

- 9.1.1 沥青路面使用的各种材料运至现场后应取样进行质量检测, 经检验合格后方可使用。
- 9.1.2 炉渣集料替代混合料中部分岩石细集料使用。
- 9.1.3 炉渣集料掺量宜为矿料总质量的 10%~15%。
- 9.1.4 炉渣集料沥青混合料面层应在不低于 10℃气温下进行施工。

9.2 材料要求

沥青、集料、矿粉技术要求应符合 JTG F40 相关规定。炉渣集料应符合本规程第 6 节相关技术要求。

9.3 炉渣集料沥青混合料配合比设计

9.3.1 设计方法。炉渣集料可以用于所有类型沥青混合料, 本规程以 AC 型为例。AC 型炉渣集料沥青混合料配合比设计包括马歇尔试验设计和沥青混合料性能检验两部分内容。

9.3.2 设计内容。炉渣集料沥青混合料的配合比设计包括原材料的试验选用、矿料级配（包括炉渣集料）组成计算、沥青最佳用量的确定以及混合料性能验证等。

9.3.3 设计阶段。炉渣集料沥青混合料的配合比设计分目标配合比设计、生产配合比设计和生产配合比验证三个阶段。

9.3.4 AC 型炉渣集料沥青混合料矿料级配范围见表 7。

表 7 AC 型炉渣集料沥青混合料矿料级配范围

级配 类型	以下筛孔（mm）通过质量百分率（%）												
	31.5	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-13	/	/	/	100	90~ 100	68~ 85	38~ 68	24~ 50	15~ 38	10~ 28	7~ 20	5~ 15	4~8
AC-20	/	100	90~ 100	78~ 92	62~ 80	50~ 72	26~ 56	16~ 44	12~ 33	24~ 8	5~ 17	4~ 13	3~7

9.3.5 应对各种原材料进行试验检测，选定技术性能符合要求的原材料。

9.3.6 目标配合比设计阶段

用工程使用的材料和炉渣集料按照本规程附录 B.3 的方法，优选矿料级配、确定最佳沥青用量，检查炉渣集料沥青混合料技术性能是否符合配合比设计技术标准和检验要求，以此作为目标配合比，供生产配合比设计使用。

9.3.7 生产配合比设计阶段

9.3.7.1 确定各热料仓集料和矿粉的用量

应从二次筛分后进入各热料仓的集料取样进行筛分，通过计算，使合成矿质混合料的级配与目标配合比相吻合，并符合 9.3.4 中设计级配范围的规定，以确定各热料仓集料和矿粉的用量比例，供拌和机控制室使用。同时反复调整冷料仓进料比例，以达到供料均衡。

9.3.7.2 确定最佳油石比

根据计算的矿料配比，取目标配合比设计的最佳油石比 OAC、OAC±0.3%和 OAC±0.6% 5 个油石比，用试验室的小型拌和机拌制炉渣集料沥青混合料进行试验，确定生产配合比的最佳油石比。生产配合比确定的最佳油石比与目标配合比确定的最佳油石比之差应不超过 0.2%，如超过此规定，应分析原因，重新进行生产配合比设计，并进行混合料性能检验。

9.3.7.3 炉渣集料沥青混合料性能检验

按照以上确定的生产配合比，用室内小型拌和机拌制炉渣集料沥青混合料，制备试样后进行浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验、车辙试验和低温小梁试验，混合料性能应满足 JTG F40 相关要求。

9.3.8 生产配合比验证

采用生产配合比用生产拌和机进行试拌，炉渣集料沥青混合料的技术性能检验合格后铺筑试铺段。取试铺用的炉渣集料沥青混合料进行马歇尔试验检验，并进行沥青含量、筛分试验，由此确定正常生产用的标准配合比。

9.3.9 对同一拌和厂两台拌和机，如果使用相同品种的矿料，可使用同一目标配合比，但每台拌和机应独立进行生产配合比设计。

9.3.10 矿料产地、品种，炉渣集料产地等发生变化，应重新进行目标配合比及生产配合比设计。

9.4 铺筑试铺路面

9.4.1 炉渣集料沥青混合料面层施工开工前，均需先做试铺路面。试铺路面宜选在直线段，长度不少于 300m。

9.4.2 试铺路面施工分为试拌和试铺两个阶段，需要决定的内容包括：

9.4.2.1 根据各种机械施工能力相匹配的原则，确定适宜的施工机械，按生产能力决定机械数量与组合方式。

9.4.2.2 通过试拌决定的主要内容如下：

a) 拌和机的操作方式——如上料速度、拌和数量与拌和时间、拌和温度等；
b) 验证沥青混合料的配合比设计和沥青混合料的技术性质，决定正式生产用的矿料配合比和油石比。

9.4.2.3 通过试铺决定的主要内容如下：

a) 检验沥青混合料施工性能，评价是否利于摊铺和压实，要求混合料不离析、不结块；
b) 摊铺机的操作方式，摊铺方法、摊铺温度、摊铺速度、初步振捣夯实的方法和强度、自动找平方式等；
c) 压实机具的选择、组合，压实顺序，碾压温度，碾压速度及遍数；
d) 施工缝处理方法；
e) 各种沥青面层的松铺系数；
f) 确定施工产量及作业段的长度，修订施工组织计划；
g) 全面检查材料及施工质量是否符合要求；
h) 确定施工组织及管理体系、质保体系、人员、机械设备、检测设备、通讯及指挥方式。

9.4.2.4 试铺段力争一次成功，否则应予铲除。

9.4.2.5 试铺段的质量检查频率应根据需要比生产路段路面施工时适当增加（一般增加一倍，保证每种碾压组合的试铺段压实度、渗水系数等检查项目不小于 10 点）。

9.5 炉渣集料沥青混合料面层施工

9.5.1 施工要点

9.5.1.1 炉渣集料进入拌和站后场后均应存入料仓，不得露天堆放。

9.5.1.2 拌和楼设置炉渣集料单独仓口，同时应保证原材料干燥，避免进料口堵塞。

9.5.1.3 炉渣集料沥青混合料的拌和温度应比 JTG F40 中要求的温度提高 3~5℃。

9.5.1.4 炉渣集料沥青混合料拌和时间由试拌确定。相对于常规混合料，干拌时间延长 3~5s，湿拌时间延长 3~5s。应使所有集料颗粒全部裹覆沥青胶结料，并以沥青混合料拌和均匀为度。

9.5.2 混合料的拌和

9.5.2.1 炉渣集料及各种原材料应放置料仓内，分开堆放。

9.5.2.2 喂料机各料仓开口大小和皮带计量精度应事先标定，并在施工过程中经常检查和调整。

9.5.2.3 严格掌握沥青和集料的加热温度以及沥青混合料的出厂温度。集料温度应比沥青温度高 10~15℃。

9.5.2.4 拌和楼控制室应逐盘打印沥青及各种矿料的用量和拌和温度，随时在线检查矿料级配和油石比，并定期对拌和楼的计量和测温进行校核。

9.5.2.5 目测检查混合料的均匀性，及时分析异常现象。如混合料有无花白、冒青烟和离析等现象。

9.5.2.6 每台拌和机每天取一组混合料试样做马歇尔试验和抽提筛分试验，检验油石比、矿料级配和沥青混合料性质。

9.5.2.7 每天结束后，用拌和楼打印的各料仓数量，进行总量控制。以各仓用量及各仓筛分结果，在线检查矿料级配；计算平均施工级配和油石比，与设计结果进行校核；以每天产量计算平均厚度，与路面设计厚度进行校核。

9.5.3 沥青混合料运输

9.5.3.1 检测沥青混合料的出厂温度和运到现场温度，测试方法应符合 JTJ E60 中 T0981 的规定。

9.5.3.2 拌和机向运料车放料时，料车应前后移动，分几堆装料。

9.5.3.3 沥青混合料运输车的运量应较拌和能力和摊铺速度有所富余。运料车应采用厚篷布覆盖严密。

9.5.3.4 连续摊铺过程中，运料车不得撞击摊铺机。卸料过程中运料车应挂空档，靠摊铺机推动前进。

9.5.4 沥青混合料的摊铺

9.5.4.1 摊铺机的摊铺速度应根据拌和机的产量、施工机械配套情况及摊铺厚度、摊铺宽度，按 (2~4) m/min 予以调整选择，做到缓慢、均匀、不间断地摊铺。

9.5.4.2 混合料未压实前，施工人员不得进入踩踏。一般不得人工整修，只有在特殊情况下（如局部离析），才可在现场主管人员指导下人工找补或更换混合料，缺陷较严重时应予铲除，并调整摊铺机或改进摊铺工艺。

9.5.4.3 下面层摊铺厚度采用钢丝引导的控制高程方式。上面层应采用非接触式平衡梁控制摊铺厚度。

9.5.4.4 摊铺机应调整到最佳工作状态。摊铺前熨平板应预热至规定温度。熨平板应拼接紧密，不应存有缝隙。熨平板和夯锤振级应尽可能提高，调好螺旋布料器两端的自动料位器，并使料门开度、链板送料器的速度和螺旋布料器的转速相匹配。螺旋布料器内混合料表面以略高于螺旋布料器 2/3 高度为度，熨平板挡板前混合料的高度应在全宽范围内保持一致，避免摊铺层出现离析现象。

9.5.4.5 随时检测松铺厚度是否符合规定，发现异常应立即调整。

9.5.4.6 摊铺面层混合料前应将中央分隔带路缘石设置好，路肩侧应设置钢模板。近中央分隔带路缘石处应适量多摊些混合料，加强路缘石边缘处沥青混合料的压实。

9.5.4.7 摊铺时尽量缩短料车更换的间隔时间，保证摊铺机料斗在此期间内不脱料，尽量避免摊铺机料斗在摊铺过程中拢料。

9.5.4.8 摊铺遇雨时，立即停止施工，并清除未压实及成型的混合料。料车上遭受雨淋的混合料应废弃，不得摊铺。

9.5.5 沥青混合料的压实

9.5.5.1 沥青混合料的压实应尽可能采用重型压路机，并选择合理的压路机组合方式及碾压步骤。初压应在混合料不产生推移、开裂等情况下尽量在较高温度下进行。初压严禁使用轮胎压路机，复压采用轮胎压路机，终压采用钢轮压路机。

9.5.5.2 不得向压路机轮表面喷涂油类或油水混合液，需要时可喷涂清水或含有隔离剂的水溶液，喷洒应呈雾状，以不粘轮为度。禁止使用柴油和机油的水混合物喷涂。

9.5.5.3 压路机应以均匀速度碾压。压路机适宜的碾压速度随初压、复压、终压及压路机的类型而

定，可参照表 8 通过试铺确定。

表 8 AC 型混合料碾压速度

压路机类型	初压速度 (km/h)		复压速度 (km/h)		终压速度 (km/h)	
	适宜	最大	适宜	最大	适宜	最大
钢轮压路机	1.5~2	3	2.5~3.5	5	2.5~3.5	5
轮胎压路机	—	—	3.5~4.5	8	—	—
钢轮 振动压路机	1.5~2 (静压)	5 (静压)	4~5 (振动)	8 (振动)	2~3 (静压)	5 (静压)

9.5.5.4 为避免碾压时混合料推挤产生拥包，碾压时应将驱动轮朝向摊铺机；碾压路线及方向不应突然改变；压路机起动、停止应减速缓行，不得刹车制动。压路机折回应呈阶梯状，不应处在同一横断面上。

9.5.5.5 路面的碾压温度、碾压方式、碾压程序和碾压遍数由试铺确定，并依据施工气温变化进行必要调整。

9.5.5.6 在当天碾压的沥青层面上，不得停放压路机或其它车辆，并防止矿料、油料和杂物散落在沥青层面上。

9.5.5.7 压实完成 12h 后，路面温度低于 50℃ 后方能允许施工车辆通行。

9.6 施工接缝的处理

9.6.1 纵向施工缝。采用两台摊铺机成梯队联合摊铺方式完成的纵向接缝，应采用斜接缝，以热接缝形式在最后作骑接缝碾压，以消缝迹。如果两台摊铺机相隔距离较短，也可做一次碾压。上下层纵缝应错开 15cm 以上。

9.6.2 横向施工缝。全部采用平接缝。用三米直尺沿纵向放置，在摊铺段端部的直尺呈悬臂状，以摊铺层与直尺脱离接触处定出接缝位置，用锯缝机割齐后铲除斜坡层，用水冲洗干净，并涂抹改性乳化沥青；继续摊铺时，切缝处应保持干燥，摊铺机熨平板从接缝处起步摊铺；碾压时用钢轮压路机进行横向压实，从先铺路面上跨缝逐渐移向新铺面层。接缝碾压完毕再纵向碾压新铺面层。

9.6.3 当天碾压完毕应将压路机开向未铺新面层的下承层上过夜，第二天压路机开回新施工面层上后，再铲除接缝处斜坡层继续摊铺沥青混合料。

9.7 质量管理

9.7.1 施工质量检查

9.7.1.1 沥青面层施工应根据全面质量管理的要求，建立健全有效的质量保证体系，对施工各工序的质量进行检查评定；加强施工过程的质量检测，实行动态质量管理，确保施工质量的稳定性。

9.7.1.2 与沥青面层施工有关的原始记录、试验检测结果、计算数据、汇总表格，应如实记录和保存。对已采取措施进行返工补救的项目，可在原始记录和数据上注明，但不得销毁。

9.7.1.3 渗水试验下面层合格率应不小于 80%，上面层合格率应不小于 90%，当合格率不满足要求时应加倍频率检测，如此时渗水系数检测结果仍然不能满足要求，应对该段路面进行处理。

9.7.1.4 施工过程中随时对路面进行外观（色泽、油膜厚度、表面空隙）检查，发现路面局部渗水、严重离析或压实度不足时，应采取补救措施。

9.7.2 施工质量标准

炉渣集料沥青混合料面层施工质量标准见表9。

表9 炉渣集料沥青混合料面层施工过程质量标准

项目		质量标准或允许偏差		检查规定	
		高速公路、一级公路	其他公路	检查频度	试验方法
外观		无油斑、离析、轮迹		随时	目测
接缝		紧密、平整、顺直、无跳车		随时	目测
		3mm	5mm	逐条缝检测评定	T 0931
拌和温度		符合本规程 9.5.1.3 的规定		/	/
施工温度		符合本规程 9.5.3.1 的规定		1 次 / 车	数显式温度计
矿料级配， 与生产设计标准级 配的差(%)	0.075mm	±2	±2	每台拌和机每天 1~2 次，以 2 个试样的平均值评定	T 0725
	≤2.36mm	±5	±6		
	≥4.75mm	±6	±7		
沥青用量（油石比），与 生产设计油石比的差(%)		±0.1	/	逐盘检查，每天汇总 1 次， 取平均值评定	总量检验
		±0.3	±0.4	每台拌和机每天 1~2 次，以 2 个试样的平均值评定	抽提 T 0722 T 0721
马歇尔试验：稳定度、流 值、密度、空隙率		符合设计要求		每台拌和机每天 1~2 次，以 4~6 个试件的平均值评定	T 0702 T 0709
渗水系数（ml/min）		≤200		每1000m不少于5点， 每点3处取平均值	T 0971
压实度（%）		≥实验室标准密度的97% ≥最大理论密度的93%		1处/200m/车道	T 0924
纵断高程（mm）		±15	±20	4断面/200m	T 0911
横坡度（%）		±0.3	±0.5	4断面/200m	T 0911
厚度	总厚度	设计值的-5%	设计值的-8%	1次/200m/车道	T 0912
	上面层	设计值的-10%	设计值的-10%		
平整度 （mm） （标准差）	上面层	1.2	2.5	连续检测	T 0932
	下面层	1.8	3.0	连续检测	
中线平面偏位（mm）		±20	±30	4断面/200m	T 0911
宽度（mm）		不小于设计宽度		2断面/200m	T 0911
摩擦系数		符合设计要求		1 处/200m	T 0964
构造深度					T 0961

附录 A (规范性附录) 水泥稳定炉渣碎石混合料配合比设计方法

A.1 一般规定

- A.1.1 本方法适用于水泥稳定炉渣碎石混合料配合比设计。
- A.1.2 水泥稳定炉渣碎石混合料应通过配合比设计，确定混合料的矿料级配、水泥用量、最佳含水量、最大干密度。
- A.1.3 配合比设计的试验应遵照现行试验规程的方法执行。
- A.1.4 水泥稳定炉渣碎石混合料配合比设计采用重型击实设计方法进行。

A.2 水泥稳定炉渣碎石混合料配合比设计步骤

A.2.1 原材料选用

- A.2.1.1 配合比设计的各种矿料符合 JTG E42 相关要求。
- A.2.1.2 水泥符合 JTG E30 相关要求。

A.2.2 矿料配比设计

- A.2.2.1 水泥稳定炉渣碎石混合料中集料组成设计级配应符合 JTG/T F20 要求。
- A.2.2.2 为保证基层强度满足要求、抗裂能力最佳的效果，应尽量限制细集料、粉料用量。
- A.2.2.3 水泥稳定炉渣碎石混合料的配合比设计应充分考虑施工性能，使混合料容易摊铺和压实，避免造成离析。

A.2.3 击实试验

A.2.3.1 取施工使用水泥，按不同水泥剂量分组试验。一般水泥剂量按 3.5%~5.5% 范围，分别取 4~5 种水泥剂量比例用同一设计级配制备混合料，每种水泥剂量的混合料用五种以上的不同含水量拌制，用重型击实法确定各组混合料的最大干密度和最佳含水量。

A.2.3.2 击实试验方法按照 JTG E51 执行。

A.2.3.3 按式 (A.1) 计算混合料的湿密度 ρ_w ：

$$\rho_w = \frac{m_1 - m_2}{V} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- ρ_w —混合料的湿密度 (g/cm³)
- m_1 —试筒与湿试样的合质量 (g)
- m_2 —试筒的质量 (g)
- V —试筒的容积 (cm³)

按式 (A.2) 计算混合料的干密度 ρ_d ：

$$\rho_d = \frac{\rho_w}{1 + 0.01\omega} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

ρ_d —混合料的干密度 (g/cm³)
 ρ_w —混合料的湿密度 (g/cm³)
 ω —混合料的含水量 (%)

A.2.3.4 以干密度为纵坐标、含水量为横坐标, 绘制含水量-干密度曲线。凸形曲线顶点的纵横坐标分别为该水泥剂量混合料的最大干密度和最佳含水量。如试验点不足或出现驼峰形曲线, 则应该进行补充试验。

A.2.3.5 测定并计算不同水泥剂量水泥稳定炉渣碎石混合料的最大干密度和最佳含水量。

A.2.4 确定水泥用量

A.2.4.1 根据确定的最佳含水量, 分别拌制不同水泥剂量的水泥稳定炉渣碎石混合料, 按 98% 的压实标准, 采用静压法制备试件, 每种水泥剂量混合料制备 6 个试件, 试件制好后装入塑料袋内密封, 在标准条件下养护 6d, 浸水 1d 后取出, 做无侧限抗压强度试验, 确定试件的无侧限抗压强度。

A.2.4.2 试件的无侧限抗压强度按式 (A.3) 计算:

$$R_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

R_c —试件的无侧限抗压强度 (MPa)
 P —试件破坏时的最大压力 (N)
 A —试件的截面积 (mm²)

试件室内试验结果抗压强度的代表值按式 (A.4) 计算:

$$R_d = \bar{R}(1 - Z_a C_v) \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

R_d —抗压强度代表值, MPa
 $\bar{R}$ —该组试件抗压强度的平均值, MPa
 Z_a —保证率系数, 高速公路和一级公路应取保证率 95%, $Z_a=1.645$, 其他公路应取保证率 90%, $Z_a=1.282$
 C_v —试验结果的变异系数 (以小数计)

A.2.4.3 根据 7d 浸水无侧限抗压强度设计要求, 确定水泥剂量。

A.2.5 配合比设计报告

A.2.5.1 配合比设计报告应包括工程设计级配范围选择说明、材料品种选择与原材料质量试验结果、矿料级配、水泥用量及最佳含水量、最大干密度、7d 无侧限抗压强度结果等。试验报告的矿料级配曲线应按规定的方法绘制。

A.3 水泥稳定炉渣碎石混合料配合比设计实例

A.3.1 原材料检验

A.3.1.1 配合比所用石灰岩集料、炉渣集料、水泥经检验, 各项指标均符合本规程的要求, 可以用于配合比设计。

A.3.1.2 粗集料、细集料水洗法筛分结果列于表 A.1。

表 A.1 各种集料的筛分结果

筛孔 集料	通过下列筛孔（mm）的质量百分率（%）							
	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
1#料	100	98.9	63.6	3.8	1.1	0.3	0.3	0.3
2#料	100	100	100	88.5	18.2	1.9	0.4	0.4
细集料	100	100	100	100	98.6	66.2	30.9	13.5
炉渣集料	100	100	100	100	84.1	63.9	34.3	11.8

A.3.2 矿料级配组成计算

炉渣集料掺量 25%，实例级配计算结果如表 A.2。

表 A.2 合成级配

集料及用量 （%）	通过下列筛孔（mm）的质量百分率（%）							
	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
1#料（45.0）	45.0	44.5	28.6	1.7	0.5	0.1	0.1	0.1
2#料（25.0）	25.0	25.0	25.0	22.1	4.6	0.5	0.1	0.1
细集料（5.0）	5.0	5.0	5.0	5.0	4.9	3.3	1.5	0.7
炉渣集料（25.0）	25.0	25.0	25.0	25.0	21.0	16.0	8.6	3.0
合成级配	100	99.5	83.6	53.9	31.0	19.9	10.4	3.9
级配上限	100.0	100.0	87.0	66.0	50.0	36.0	19.0	7.0
级配下限	100.0	90.0	73.0	47.0	30.0	19.0	8.0	2.0

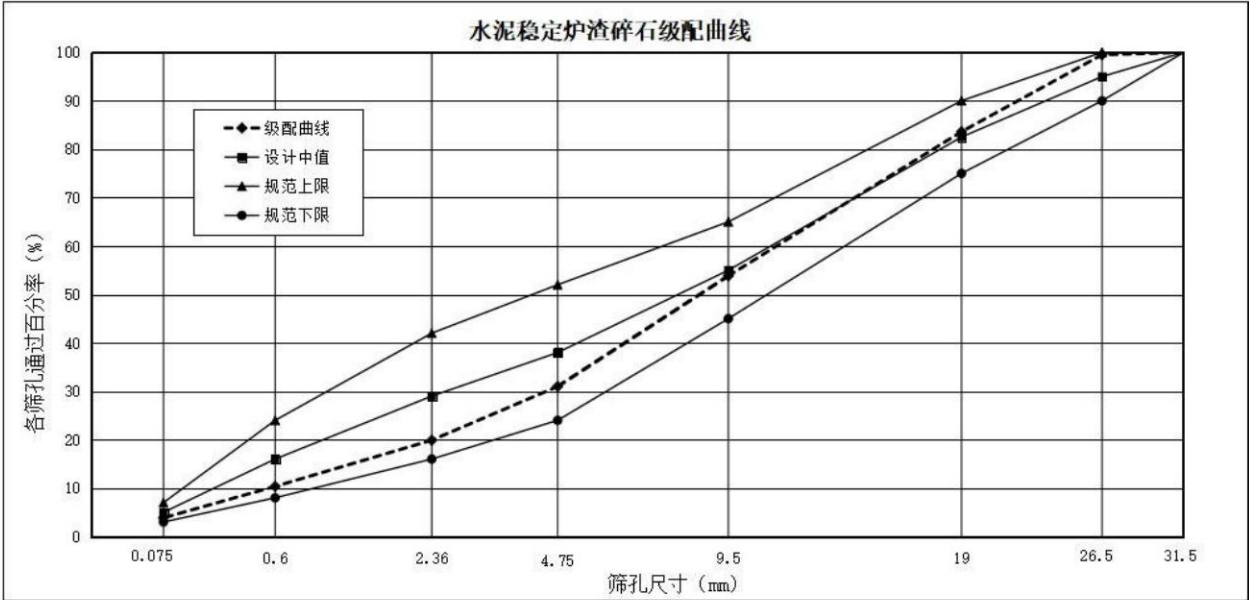


图 A.1 水泥稳定炉渣碎石混合料设计级配曲线图（炉渣掺量 25%）

A.3.3 重型击实试验

A.3.3.1 按设计的矿料比例配料，水泥剂量分别按3.5%、4%、4.5%、5.0%、5.5%五种比例制备试

件，采用重型击实法确定各组水泥稳定炉渣碎石混合料试件的最佳含水量和最大干密度，试验结果见表A.3。

表 A.3 炉渣掺量 25%水泥稳定炉渣碎石混合料击实试验结果

检测项目 \ 水泥剂量 (%)	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
重型击实法最大干密度 (g/cm ³)	2.042	2.066	2.087	2.117	2.136
重型击实法最佳含水量 (%)	6.2	6.4	6.7	6.8	7.1

A.3.4 确定水泥用量

A.3.4.1 根据试验确定的最佳含水量和最大干密度，采用静压法成型无侧限抗压强度试件，将试件装入塑料袋内封闭，在20℃±2℃，相对湿度≥95%的条件下养护6d，浸水1d后取出，进行无侧限抗压强度试验。

A.3.4.2 无侧限抗压强度试验结果分别见表A.4。

表 A.4 水泥稳定炉渣碎石混合料 7 天无侧限抗压强度试验结果表

试验项目 \ 水泥剂量 (%)	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
强度代表值 (MPa)	2.31	3.08	3.83	4.53	5.23

A.3.4.3 根据7d浸水无侧限抗压强度设计要求，考虑到拌和及现场摊铺施工控制存在一定程度的变异性，本次水泥稳定炉渣碎石混合料配合比设计水泥剂量取4.5%。

A.3.5 配合比设计报告

A.3.5.1 采用取自施工现场的原材料，进行水泥稳定炉渣碎石混合料配合比设计，得出如表A.5的结果。

表 A.5 水泥稳定碎石混合料配合比设计结果

混合料类型	下列各种材料所占比例 (%)				重型击实法			
	1#	2#	细集料	炉渣集料	水泥用量 (%)	最大干密度 (g/cm ³)	最佳含水量 (%)	强度代表值 (MPa)
水泥稳定炉渣碎石	45	25	5	25	4.5	2.087	6.7	3.83

附录 B
(规范性附录)
炉渣集料沥青混合料配合比设计方法

B.1 一般规定

B.1.1 炉渣集料沥青混合料配合比设计应通过目标配合比设计、生产配合比设计及生产配合比验证三个阶段，确定沥青混合料的材料品种、矿料级配、最佳沥青用量。

B.1.2 配合比设计的试验应遵照现行试验规程的方法执行。混合料拌和应采用小型沥青混合料拌和机进行。混合料的拌和温度和试件制作温度应符合本规范的要求。

B.2 炉渣集料沥青混合料配合比设计

B.2.1 原材料的选用

B.2.1.1 配合比设计的各种矿料和沥青材料应符合JTG E42的相关规定。

B.2.2 目标配合比设计

B.2.2.1 炉渣集料沥青混合料配合比设计采用马歇尔试件体积设计方法。

B.2.2.2 炉渣集料沥青混合料目标配合比设计按图B.1流程的步骤进行。

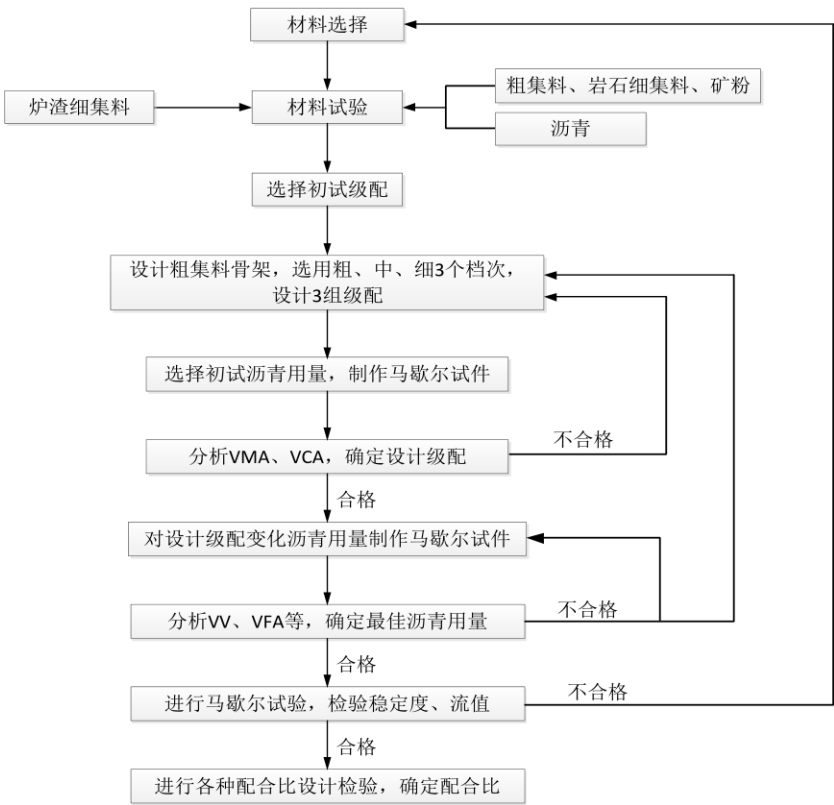


图 B.1 炉渣集料沥青混合料混合料配合比设计流程

B.2.2.3 按 JTG F40 附录 B 的方法计算初试级配矿料的合成毛体积相对密度 γ_{sb} 、合成表观相对密度 γ_{sa} 、合成有效相对密度 γ_{se} 。

B.2.2.4 设计初试级配。调整各种矿料比例，设计 3 个不同粗细的初试级配，应符合标准级配范围

的要求。按式 (B.1) 计算混合毛体相对密度 γ_{ca} 。

$$\gamma_{ca} = \frac{P_1 + P_2}{\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{P_2}{\gamma_2}} \quad (\text{B.1})$$

式中:

P_1 、 P_2 —分别为 1 号料和 2 号料用量

γ_1 、 γ_2 —分别为 1 号料和 2 号料的毛体积相对密度

B.2.2.5 选择制作马歇尔试件的初试油石比。初试油石比应根据矿料级配的平均毛体积相对密度选择。

B.2.2.6 按照选择的初试油石比和矿料级配制作马歇尔试件, 一组马歇尔试件数目不少于 6 个, 试件毛体积相对密度 γ_f , 应由表干法测定。

B.2.2.7 供计算混合料体积指标的最大相对理论密度 γ_t , 按式 (B.2) 计算得到。

$$\gamma_t = \frac{100 + P_a}{\frac{100}{\gamma_{se}} + \frac{P_a}{\gamma_a}} \quad (\text{B.2})$$

式中:

P_a —混合料油石比, %

γ_{se} —矿料合成有效相对密度

γ_a —沥青的相对密度

B.2.2.8 按式 (B.3)、式 (B.4)、式 (B.5) 和式 (B.6) 计算马歇尔试件的矿料间隙率 VMA、混合料中骨架间隙率 VCA_{mix}、空隙率 VV 和沥青饱和度 VFA。

$$VMA = 100 - \frac{\gamma_f}{\gamma_{sb}} P_s \quad (\text{B.3})$$

$$VCA_{mix} = 100 - \frac{\gamma_f}{\gamma_{ca}} P_{ca} \quad (\text{B.4})$$

$$VV = \left(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_t}\right) \times 100 \quad (\text{B.5})$$

$$VFA = \frac{VMA - VV}{VMA} \times 100 \quad (\text{B.6})$$

式中:

P_s —沥青混合料中除沥青外全部矿料占沥青混合料的质量百分率, 即 (100-沥青用量), %

P_{ca} —沥青混合料中粗集料的比例, 即大于 4.75mm 的颗粒占沥青混合料的质量百分率, %

γ_{sb} —矿料的合成毛体积相对密度, 无量纲

γ_f —试件的毛体积相对密度, 无量纲

B.2.2.9 马歇尔试件的设计空隙率 VV 应符合要求, 根据所选择的设计级配和初试油石比试验的空

隙率结果，以 0.2%~0.4%为间隔，调整 3 个不同的油石比，制作马歇尔试件。

B.2.2.10 进行马歇尔稳定度试验，检验稳定度和流值是否符合要求。稳定度和流值并不作为配合比设计可以接受或否决的唯一指标。

B.2.2.11 根据期望的设计空隙率，确定最佳油石比 OAC。

B.3 炉渣集料沥青混合料 AC-20 型配合比设计实例

B.3.1 原材料检验

B.3.1.1 目标配合比所用道路石油沥青、石灰岩集料、炉渣集料、石灰岩填料经检验各项指标均符合本规范的要求（试验结果略），可以用于目标配合比设计。

B.3.1.2 粗集料、细集料和矿粉水洗法筛分结果见表 B.1。

表 B.1 各种矿料的筛分结果

筛孔 矿料	通过以下筛孔（mm）的质量百分率（%）											
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
1#料	100	93.8	54.4	14.8	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2#料	100	100	100	96.7	69.4	3.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
3#料	100	100	100	100	100	75.7	5.0	2.2	1.0	1.0	1.0	1.0
4#料	100	100	100	100	100	100	93.8	67.7	44.7	27.6	19.5	14.0
炉渣集料	100	100	100	100	100	100	87.2	71.0	51.6	31.8	20.5	13.0
矿粉	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98.4	87.1

B.3.2 矿料级配组成计算

根据各种矿料的筛分结果和 AC-20 要求的级配范围，实配计算结果见于表 B.2。级配曲线见图 B.2。

表 B.2 AC-20 沥青混合料设计级配组成计算结果

矿料名称及用量 (%)	通过以下各筛孔（mm）的质量百分率（%）											
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
1#(28.0)	28.0	26.3	15.2	4.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2#(35.0)	35.0	35.0	35.0	33.8	24.3	1.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
3#(8.5)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	6.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
4#(18.0)	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	16.9	12.2	8.0	5.0	3.5	2.5
炉渣集料 (10.0)	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	8.7	7.1	5.2	3.2	2.1	1.3
矿粉(0.5)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
合成级配	100	98.3	87.2	74.9	61.5	36.0	26.9	20.4	14.2	9.2	6.6	4.8
级配范围上限	100	100	92	80	72	56	44	33	24	17	13	7
级配范围下限	100	90	78	62	50	26	16	12	8	5	4	3

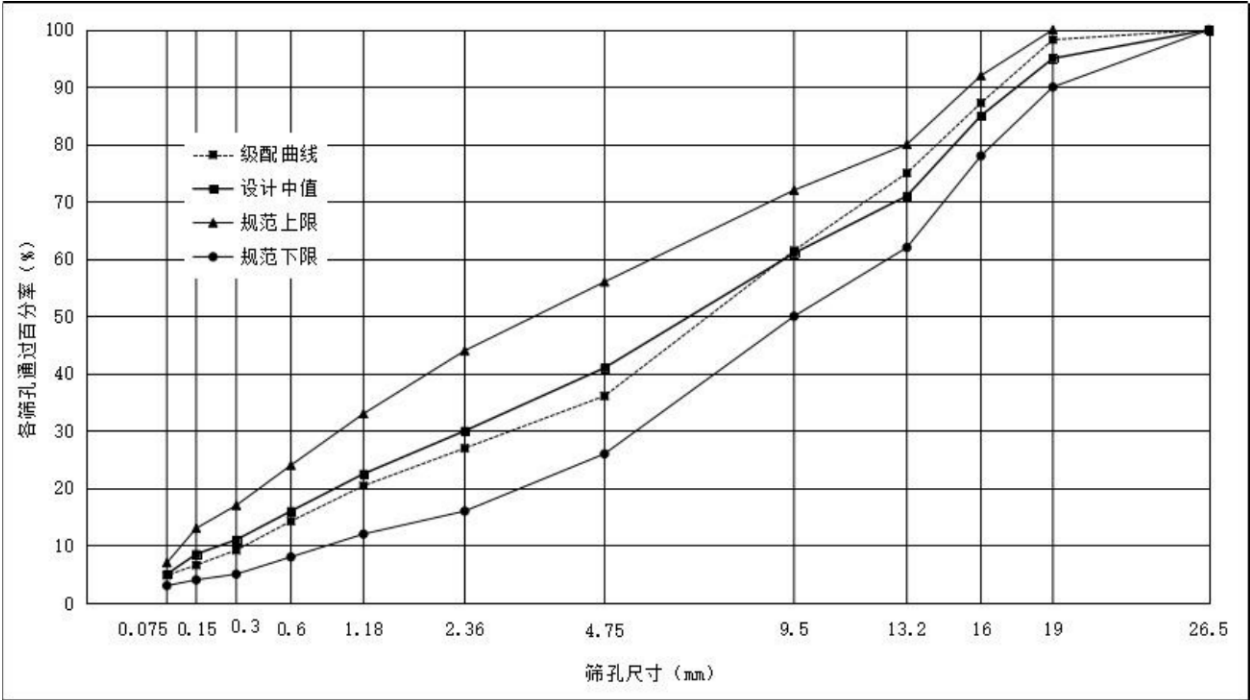


图 B.2 AC-20 设计级配曲线图

B.3.3 马歇尔试验

按设计的矿料比例配料，采用五种油石比，拌制混合料，每种混合料制备 6 个马歇尔试件，进行密度测定和马歇尔稳定度试验，试验结果见表 B.3。

表 B.3 AC-20 设计级配马歇尔稳定度试验结果

级配类型	油石比 (%)	稳定度 (kN)	流值 (0.1mm)	空隙率 (%)	VMA (%)	饱和度 (%)	试件毛体积相对密度	实测理论最大相对密度
AC-20	4.0	5.18	27.6	6.8	13.8	50.6	2.354	2.525
	4.5	7.34	30.1	5.6	13.7	59.2	2.368	2.508
	5.0	9.82	32.5	4.4	13.6	67.8	2.382	2.491
	5.5	7.69	35.1	3.3	13.6	75.9	2.393	2.474
	6.0	6.03	38.2	2.2	13.7	83.6	2.403	2.458
要求	/	≥8.0	15~40	4.0~6.0	/	65~75	/	/

B.3.4 最佳油石比的确定

B.3.4.1 根据马歇尔稳定度试验结果，分别绘制密度、空隙率、流值、稳定度、饱和度、VMA 与油石比的关系曲线，从曲线上找出与最大密度、最大稳定度及空隙率中值及饱和度范围中值对应的四个油石比，求出四者的平均值作为最佳油石比初始值 OAC_1 。

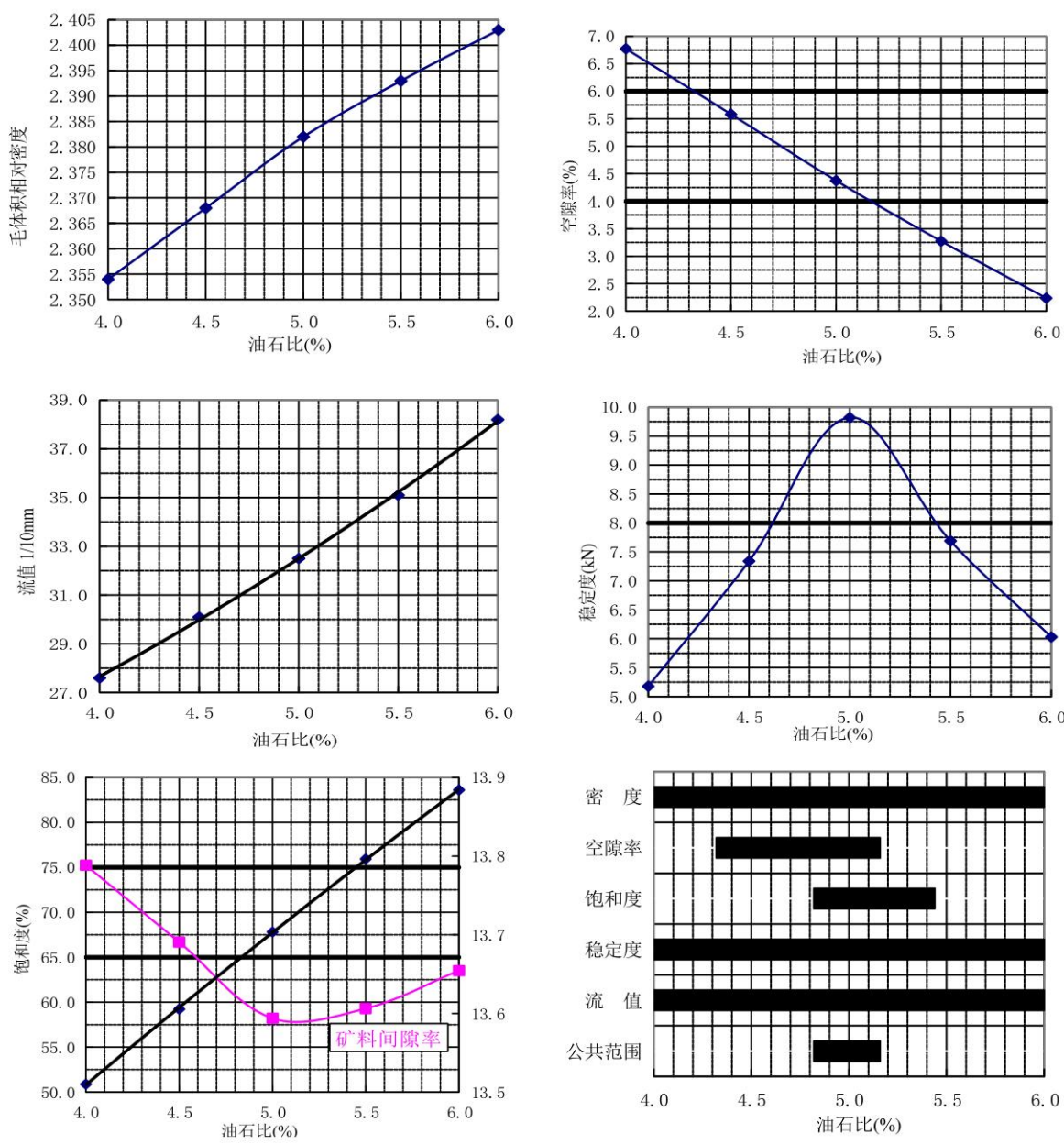


图 B.3 密度、空隙率、流值、稳定度、饱和度、VMA 与油石比的关系

B.3.4.2 由图 B.3 可知，试件毛体积相对密度没有出现峰值，取目标空隙率为 4.5%所对应的油石比为 4.95%，即 OAC_1 为 4.95%。

B.3.4.3 由各项指标与油石比的关系图可得符合各指标要求的油石比范围为 4.82%~5.16%，其中值为 4.99%，即为 OAC_2 ， OAC_1 与 OAC_2 的平均值为 4.97%，根据设计经验和当地气候条件取油石比 5.0%为最佳油石比。

B.3.5 最佳油石比下沥青混合料的性能检验

进行最佳油石比下的浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验来检验设计沥青混合料的水稳定性能；车辙试验（60℃）检验沥青混合料的高温稳定性能；弯曲试验检验沥青混合料的低温抗裂性能；试验结果分别见表 B.4、表 B.5、表 B.6、表 B.7。

表 B.4 最佳油石比下浸水马歇尔稳定度试验结果

混合料类型	非条件马歇尔稳定度 (kN)	条件马歇尔稳定度 (kN)	残留稳定度 S_0 (%)	要求 (%)
AC-20	9.98	8.62	86.3	≥85

表 B.5 最佳油石比下沥青混合料冻融劈裂检验

混合料类型	非条件劈裂强度 (MPa)	条件劈裂强度 (MPa)	TSR (%)	要求 (%)
AC-20	0.7310	0.5994	82.0	≥80

表 B.6 最佳油石比下沥青混合料车辙检验

混合料类型	动稳定度(次/mm)				
	1	2	3	平均	要求(次/mm)
AC-20	5888	5294	6058	5747	≥2800

表 B.7 沥青混合料弯曲试验检测

混合料类型	最大荷载(kN)	跨中挠度(mm)	抗弯拉强度 (MPa)	劲度模量 (MPa)	破坏应变 ($\mu\epsilon$)	要求 ($\mu\epsilon$)
AC-20	1.006	0.493	8.19	3166	2590	≥2500

B.3.6 配合比设计报告

B.3.6.1 采用取自施工现场的原材料，对路面下面层 AC-20 型沥青混合料目标配合比设计，得出如表 B.8 和表 B.9 的结果。

表 B.8 矿料配合比及油石比

混合料类型	下列各种矿料所占比例 (%)						油石比 (%)	有效沥青 用量 (Pbe) %	粉胶比 FB
	1#料	2#料	3#料	4#料	炉渣集料	矿粉			
AC-20	28.0	35.0	8.5	18.0	10.0	0.5	5.0	3.982	1.205

表 B.9 最佳油石比及密度、空隙率

混合料类型	油石比 (%)	空隙率 (%)	VMA (%)	饱和度 (%)	试件毛体积相 对密度	实测理论最大相 对密度	沥青膜有效 厚度 (μm)
AC-20	5.0	4.4	13.6	67.8	2.382	2.491	8.712

B.3.6.2 通过混合料级配调试和相关验证试验，表明所设计的道路石油沥青 AC-20 型炉渣集料沥青混合料的性能试验满足 JTG F40 的相关规定，室内目标配合比设计所得结果可用于生产配合比的调试。