

ICS 93.080.30

P66

备案号: 56874-2017

DB32

江苏省地方标准

DB 32/T 3312—2017

沥青路面厂拌热再生施工技术规范

Technical specification for construction of asphalt pavement with central plant hot recycling

2017-09-25 发布

2017-09-25 实施

江苏省质量技术监督局

发布

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》给出的规则起草。

本标准由江苏省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：苏交科集团股份有限公司、江苏省常州市公路管理处。

本标准主要起草人：叶勤、季小明、徐卿、蒋小旦、胡洋、谢鹏、李云、张稷韧、严金海、朱益兵、郑炳锋。

沥青路面厂拌热再生施工技术规范

1 范围

本标准规定了沥青路面厂拌热再生施工技术规范术语和定义、符号及代号、总则、原路面调查与分析、材料、再生混合料设计、施工工艺、施工质量管理与检查、工程质量检验评定等。

本标准适用于厂拌热再生沥青路面施工。

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/T 25033 再生沥青混凝土
JTG E20 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
JTG E42 公路工程集料试验规程
JTG E60 公路路基路面现场测试规程
JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
JTG F41 公路沥青路面再生技术规范
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
JTJ 073.2 公路沥青路面养护技术规范
DB32/T 2798 江苏省高性能沥青路面施工技术规范

3 术语和定义

以下术语和定义适用于本文件。

3.1

沥青混合料回收料（又称回收沥青路面材料） reclaimed asphalt pavement, 简称 RAP

采用铣刨、开挖等方式从沥青路面上获得的旧沥青混合料。

3.2

沥青混合料 asphalt mixture

由矿料与沥青结合料拌和而成的混合料的总称。按材料组成及结构分为连续级配、间断级配混合料，按矿料级配组成及空隙率大小分为密级配、半开级配、开级配混合料。按公称最大粒径的大小可分为特粗式（公称最大粒径等于或大于31.5mm）、粗粒式（公称最大粒径26.5mm）、中粒式（公称最大粒径16或19mm）、细粒式（公称最大粒径9.5或13.2mm）、砂粒式（公称最大粒径小于9.5mm）沥青混合料。按制造工艺分热拌沥青混合料；冷拌沥青混合料；再生沥青混合料等。

3.3

沥青再生剂 rejuvenating agent

必要时掺加到再生混合料中，用于恢复已老化沥青性能（热拌型沥青再生剂），或者兼顾恢复已老化沥青性能和改善再生沥青混合料施工和易性等条件的添加剂（温拌型沥青再生剂）。

3.4

厂拌热再生 central plant hot recycling

将沥青混合料回收料（RAP）运至沥青拌和厂（场、站），经破碎、筛分，以一定的比例与新集料、新沥青、沥青再生剂（必要时）等拌制成热拌再生混合料铺筑路面的技术。

3.5

再生混合料 recycled mixture

通过厂拌热再生方式拌制的含有沥青混合料回收料（RAP）的热拌沥青混合料。

3.6

再生沥青 rejuvenated binder

RAP中的回收沥青与新添加的沥青、沥青再生剂组成的混合物。

3.7

再生混合料级配 gradation of recycled mixture

再生混合料级配即再生混合料的矿料级配，是指沥青混合料回收料（RAP）中的矿料与新矿料的合成级配。

3.8

沥青混合料回收料（RAP）矿料 aggregate in RAP

用抽提法或者燃烧法除去沥青混合料回收料（RAP）中的沥青材料得到的矿料。

3.9

沥青混合料回收料（RAP）级配 gradation of RAP

将烘干至恒重的沥青混合料回收料（RAP）进行筛分试验测得的级配。

3.10

沥青混合料回收料（RAP）矿料级配 gradation of aggregate in RAP

用抽提法或者燃烧法除去沥青混合料回收料（RAP）中的沥青材料得到的矿料级配。

3.11

沥青混合料回收料（RAP）掺配比 percentage of RAP in recycled mixture

沥青混合料回收料（RAP）占再生混合料矿料总质量的百分比。

3.12

高掺量再生混合料 high recycled mixture

沥青混合料回收料（RAP）掺配比不小于30%的再生混合料。

4 符号及代号

本标准使用的符号及代号见表1。

表 1 符号及代号

序 号	符号或代号	意义
1	RAP	沥青混合料回收料
2	RA	沥青再生剂
3	PCI	路面损坏状况指数
4	PSSI	路面结构强度指数
5	ROI	路面行驶质量指数
6	SRI	路面抗滑性能指数
7	RDI	路面车辙深度指数
8		沥青粘度
9	OAC	最佳油石比
10	MS	马歇尔稳定度
11	FL	马歇尔试验的流值
12	RS	残留稳定度
13	DS	再生混合料车辙试验的动稳定度
14	CB	再生混合料低温弯曲试验破坏应变
15	MSO	再生混合料浸水马歇尔试验残留稳定度
16	TSR	再生混合料冻融劈裂试验的残留强度比
17	VV	再生混合料空隙率
18	VMA	再生混合料空隙率的矿料间隙率
19	VFA	再生混合料中的沥青饱和度
20	AC	密级配沥青混凝土混合料，分为粗型和细型两类
21	Superpave	美国 SHRP 沥青混合料配合比设计体系的注册名称

5 总则

- 5.1 为规范沥青路面厂拌热再生技术应用，指导厂拌热再生沥青路面的设计、施工、质量控制与检查验收，保证厂拌热再生沥青路面工程质量，制定本标准。
- 5.2 适用于对各等级公路沥青混合料回收料（RAP）进行厂拌热再生利用，再生的沥青混合料主要用于各等级公路的新建、改扩建、大中修和养护改善工程的沥青路面的面层及柔性基层。用于上面层时，沥青混合料回收料（RAP）用量宜不超过 15%。
- 5.3 沥青面层施工时气温应不低于 10℃，采用温拌型沥青再生剂时，气温应不低于 5℃，同时严禁雨天、路面潮湿的情况下施工。
- 5.4 沥青路面厂拌热再生利用宜采用新技术、新材料、新设备和新工艺。

5.5 厂拌热再生可以使用道路石油沥青或 SBS 改性沥青的沥青混合料回收料 (RAP)，其他类型的沥青混合料回收料 (RAP)，须组织论证检验可行性。

5.6 厂拌热再生的应用除应符合本标准的规定外，尚应符合本标准第二章引用的国家、行业颁布的有关标准、规范的规定。

5.7 厂拌热再生沥青路面施工应符合国家环境和生态保护的规定。

6 原路面调查与分析

6.1 一般规定

6.1.1 厂拌热再生实施前，应对原路面历史信息、技术状况、交通量、工程经济等方面的内容进行调查和综合分析，为确定沥青路面铣刨与回收方案、再生混合料设计和再生沥青路面结构设计提供依据。

6.1.2 原路面调查的内容应完整，并进行系统分析和准确评价。

6.2 原路面基础信息调查与分析

6.2.1 原路面基础资料，一般包括公路等级、设计标准、原路面的结构、材料和路况等。

6.2.2 交通状况信息，包括历年交通量、轴载组成情况等。

6.2.3 养护管理数据，包括养护历史、路况检测数据、施工资料、竣工资料等。

6.3 原路面状况调查与评价

6.3.1 路面损坏，包括各种路面损坏的位置、形态、严重程度等。

6.3.2 原路面技术指标，包括路面损坏状况指数 PCI，路面结构强度指数 SSI，路面行驶质量指数 RQI，路面抗滑性能指数 SRI、路面车辙深度指数 RDI 等。

6.3.3 对原路面材料进行取样和检测，取样方法按照本标准附录 A 进行。检测指标主要包括沥青含量、回收沥青各项技术指标、抽提沥青后集料的各项指标等。

6.3.4 结合交通量与原路面状况的调查、原路面材料的取样和试验、路面裂缝、车辙等资料对原路面进行病害程度和成因分析。

6.3.5 交通状况信息为厂拌热再生路面工程交通组织方案提供依据。交通量大时应考虑在施工过程中采取车辆分流措施；无法分流车辆的，应有针对性地进行施工组织设计或综合比选其他路面养护维修方法。

6.4 技术经济性比选

对可能采用的不同路面维修方法，应进行综合技术经济对比分析，分析各种方法使用年限内的综合成本，包括路面维修成本、养护成本、路面残值等。

7 材料

7.1 一般规定

7.1.1 厂拌热再生混合料使用的各种材料运至现场后应先进行质量检验，经评定合格后方可使用。

7.1.2 沥青混合料回收料 (RAP) 最大粒径应不大于再生混合料最大粒径。

7.1.3 沥青混合料回收料 (RAP)、新加细集料应堆放在预先经过硬化处理且排水通畅的地坪上，宜采用防雨棚遮盖。

7.1.4 不同的沥青混合料回收料（RAP）、新加集料应分开堆放，标识清楚，不得混杂，保证材料均匀一致。

7.2 沥青

7.2.1 所选用的道路石油沥青、改性沥青的标号或等级应符合再生混合料设计要求，且技术指标应符合 JTG F40 的规定。

7.2.2 沥青必须按照品种、标号分开存放，在储运、使用和存放过程中应采取良好的防水措施，避免雨水或者加热管道蒸汽进入沥青中。

7.3 沥青再生剂

7.3.1 热拌型沥青再生剂应满足表 2 要求。

表 2 热拌型沥青再生剂质量要求

试验项目	RA-1	RA-5	RA-25	RA-75	RA-250	RA-500	试验方法
60℃粘度 cSt	50~175	176~900	901~4500	4501~12500	12501~37500	37501~60000	T 0619
闪点（℃）	≥220	≥220	≥220	≥220	≥220	≥220	T 0633
饱和分含量（%）	≤30	≤30	≤30	≤30	≤30	≤30	T 0618
芳香分含量（%）	≥30	≥30	≥30	≥30	≥30	≥30	T 0618
薄膜烘箱试验前后黏度比	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	T 0619
薄膜烘箱试验前后质量变化比（%）	≤4, ≥-4	≤4, ≥-4	≤3, ≥-3	≤3, ≥-3	≤3, ≥-3	≤3, ≥-3	T 0609 或 T 0610
15℃密度	实测记录	实测记录	实测记录	实测记录	实测记录	实测记录	T 0603
注：薄膜烘箱试验前后黏度比=试样薄膜烘箱试验后黏度/试验薄膜烘箱试验前黏度。							

7.3.2 采用温拌型沥青再生剂对再生混合料进行温拌再生时，再生混合料设计及性能指标等应满足设计要求。

7.3.3 沥青再生剂应贮存在有盖的容器中，防止水、灰尘等混入。

7.4 新加矿料

新加矿料应符合 JTG F40 中粗集料、细集料及填料的要求。

7.5 沥青混合料回收料（RAP）

7.5.1 沥青混合料回收料（RAP）必须经过破碎、筛分等工艺预处理后方可使用，通过二次破碎工艺降低沥青混合料回收料（RAP）中粘结块料的含量。

7.5.2 沥青混合料回收料（RAP）样品，应按照表 3 的各项技术要求进行检测。沥青混合料回收料（RAP）应满足表 4 所示的技术要求。

表 3 RAP 检测项目

材料	检测项目	试验方法
RAP	含水率	附录 A
	RAP 矿料级配	
	沥青含量	
	砂当量	
RAP 中的沥青	针入度	抽提, JTG E20
	60℃动力黏度	
	软化点	
	15℃延度	
RAP 中的粗集料	针片状颗粒含量	抽提, JTG E42
	压碎值	
RAP 中的细集料	棱角性	
注1: 对于燃烧法不会对石质产生破坏时, 可用燃烧法替代抽提法获得粗细集料用于检测。		
注2: 用于公路等级较低或者是所处层位较低的厂拌热再生时, RAP中的沥青和粗细集料指标可不做检测。		

表 4 RAP 实测指标要求

材料	检测项目	技术要求	试验方法
RAP	含水率	≤3	附录 A
	砂当量	≥60	
RAP 中的沥青	针入度	≥20	抽提, JTG E20
注: 沥青混合料回收料 (RAP) 中旧沥青针入度应≥20, 当<20时, 经过试验论证后方可使用。			

7.5.3 沥青混合料回收料 (RAP) 堆放时, 宜按 10~15 度的倾角分层堆放, 防止离析。

8 再生混合料设计

8.1 一般规定

- 8.1.1 必须在对沥青混合料回收料 (RAP) 充分调查分析的基础上, 根据工程要求、交通等级、使用层位、气候条件等, 充分借鉴成功经验, 选用符合要求的材料, 进行再生混合料设计。
- 8.1.2 应根据沥青混合料回收料 (RAP) 中沥青老化程度、沥青含量、沥青混合料回收料 (RAP) 掺配比例、再生剂与沥青的配伍性等, 综合选择再生剂品种。
- 8.1.3 AC 型再生混合料配合比设计由马歇尔试验设计和沥青混合料性能检验两部分组成, Superpave 再生混合料设计由旋转压实试验设计和混合料性能检验两部分组成。
- 8.1.4 配合比设计时, 沥青混合料回收料 (RAP) 应从经过预处理后的沥青混合料回收料 (RAP) 料堆取样。
- 8.1.5 配合比设计应通过目标配合比设计、生产配合比设计、生产配合比验证三个阶段, 确定沥青混合料回收料 (RAP) 的掺配比例、新材料的品种及配合比、矿料级配、最佳沥青用量。
- 8.1.6 室内拌和再生混合料时, 应根据不同沥青混合料回收料 (RAP) 的掺量, 增加 10s~30s 新加矿料与沥青混合料回收料 (RAP) 的干拌时间。
- 8.1.7 经确定的工程设计级配范围是配合比设计的依据, 不得随意变更。

8.2 设计标准

- 8.2.1 再生混合料矿料级配范围的确定及技术要求应符合 JTG F40 或 DB32 T2798 对热拌沥青混合料的相关规定。
- 8.2.2 再生混合料配合比确定后，应进行再生混合料路用性能检验。各项性能指标应符合表 5 的规定。

表 5 再生混合料配合比设计性能技术要求

试验指标	单位	技术要求		试验方法
		道路石油沥青	改性沥青	
动稳定度 DS	次/mm	≥1000	≥2800	T0719
低温弯曲试验破坏应变 CB	μ ε	≥2000	≥2500	T0728
浸水马歇尔试验残留稳定度 MS0	%	≥80	≥85	T0790
劈裂试验的残留强度比 TSR	%	≥75	≥80	T0729/ AASHTO T283
注：AASHTO T283性能检测主要用于Superpave型沥青混合料，AC类型沥青混合料可参考选择。				

8.3 目标配合比设计

- 8.3.1 测得沥青混合料回收料（RAP）、新加矿料等各组成材料的矿料级配、密度。其中沥青混合料回收料（RAP）的集料的密度测试方法宜采用本标准附录 B。
- 8.3.2 以沥青混合料回收料（RAP）的试验结果为基础，选择沥青混合料回收料（RAP）掺配比例，再掺加不同比例的新加矿料，使合成级配满足工程设计级配的要求。
- 8.3.3 当进行高掺量再生混合料配合比设计时，其合成级配应采用沥青混合料回收料（RAP）的矿料比例，换算方法参照附录 C。
- 8.3.4 确定再生沥青目标标号，应根据公路等级、混合料使用的层位、工程的气候条件、交通量、设计车速等条件，选取与当地同等条件的道路石油沥青或改性沥青标号作为目标标号，沥青混合料回收料（RAP）掺配比例较大时，可根据实际情况，适当降低沥青目标标号或采用沥青再生剂。

8.3.5 确定新沥青标号和沥青再生剂用量

- 8.3.5.1 采用针入度指标确定新沥青标号的，应根据沥青混合料回收料（RAP）材料的性质、掺配比例，按表 6 选择新沥青标号。

表 6 再生混合料新沥青的选择

回收沥青等级	RAP 掺量 (%)		
	沥青选择不需要变化的 RAP 掺量	选择新沥青标号比正常高半个等级，即针入度 10 (0.1mm) 的 RAP 掺量	根据新旧沥青混合调和法则确定的 RAP 掺量
P≥30	<20	20~30	>30
P=20~30	<15	15~25	>25
注：表中的P代表25℃的针入度（0.1mm）。			

- 8.3.5.2 采用新旧沥青混合调和法则确定新沥青标号的，按照公式（1）确定新沥青或沥青再生剂的粘度。

$$\lg \lg \eta_{mix} = (1-\alpha) \lg \lg \eta_{old} + \alpha \lg \lg \eta_{new} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

η_{mix} =混合后沥青的60℃黏度（Pa·s）；

η_{old} = 混合前旧沥青的 60℃黏度 (Pa·s) ;

η_{new} = 混合前新沥青或再生剂的 60℃黏度 (Pa·s) ;

$$\alpha = \frac{P_{nb}}{(P_{nb} + P_{ob} \times S)}$$

α = 新沥青的比例;

S = 旧沥青利用率: 表示旧沥青再生利用质量占旧沥青总质量的百分率, 取决于沥青混合料回收料 (RAP) 掺量、温度等因素, 缺乏资料时采用 0.4~0.8。

8.3.5.3 根据粘度 η_{new} 确定新沥青标号。如需新沥青和沥青再生剂配合使用的, 新沥青与沥青再生剂的掺配比例可按照公式 (1) 计算。根据计算得到的新旧沥青掺配比例和沥青再生剂掺量, 进行新旧沥青掺配试验, 验证再生沥青标号。应首先选择合适标号的新沥青, 存在下列情形之一的可使用沥青再生剂:

- 计算得到所需的新沥青标号过高, 市场供应存在问题;
- 沥青混合料回收料 (RAP) 掺配比例较大或者沥青混合料回收料 (RAP) 中旧沥青含量较高。

8.3.5.4 实测法确定沥青再生剂掺量, 根据沥青再生剂不同掺配比例下混合沥青的性能试验结果来确定沥青再生剂的掺量。

8.3.6 估算新沥青用量 P_{nb} 及其占总沥青用量的比例

8.3.6.1 估算再生沥青混合料的沥青总用量

按式2估算沥青总用量:

$$P_b = 0.035a + 0.045b + Kc + F \dots \dots \dots (2)$$

式中:

P_b ——估算的混合料中的总沥青用量 (%);

K——系数; $K=0.18$, 当 0.075mm 筛孔通过率为 6%~10% 时; $K=0.20$, 当 0.075mm 筛孔通过率 $\leq 5\%$ 时;

a——2.36mm 筛孔以上集料的比例 (%);

b——通过 2.36mm 筛孔且留在 0.075mm 筛孔上集料的比例 (%);

c——通过 0.075mm 筛孔矿料的比例 (%);

F——常数 $F=0 \sim 2.0$, 取决于集料的吸水率, 缺乏资料时采用 0.7。

沥青混合料回收料 (RAP) 掺量不超过 20% 时, 热再生沥青混合料的总沥青用量与没有掺加沥青混合料回收料 (RAP) 的沥青混合料基本一致, 可以根据工程材料特性、气候特点、交通量等条件, 结合当地的工程经验进行估计。

8.3.6.2 估算新沥青用量 P_{nb}

按照式 (3) 计算再生混合料的新沥青用量 P_{nb} :

$$P_{nb} = P_b - P_{ob} \times n / 100 \dots \dots \dots (3)$$

式中:

P_b ——再生沥青混合料的总沥青用量 (%);

P_{ob} ——RAP 中的沥青含量 (%);

n——RAP 掺配比例 (%)。

8.3.6.3 不同档的沥青混合料回收料 (RAP), 其沥青含量需要分别计算再加和。

8.3.7 矿料配合比设计

8.3.7.1 根据沥青混合料回收料 (RAP) 的老化程度、含水量、矿料的级配变异情况以及工程的实际情况、沥青混合料类型、拌和设备的类型与加热干燥能力、新集料的性质等, 确定新加矿料、沥青与沥青混合料回收料 (RAP) 的掺配比例。

8.3.7.2 将预处理后不同规格的沥青混合料回收料（RAP）中的矿料，分别作为一种矿料与新加矿料进行再生混合料的合成级配设计。

8.3.7.3 室内宜按以下流程进行拌和。

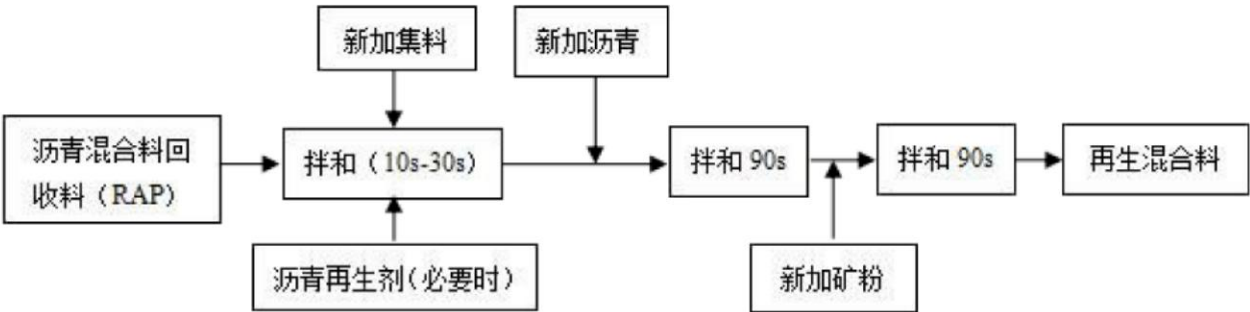


图 1 室内拌和再生混合料流程图

8.3.8 确定最佳沥青油石比或沥青用量

8.3.8.1 采用马歇尔设计方法时，用计算确定的矿料组成和经验采用的油石比范围，按 0.5%间隔变化，取五个不同的油石比，按照试验结果，分别绘制稳定度、流值、空隙率、饱和度、VMA 与油石比的关系曲线，综合分析确定目标配合比的最佳油石比 OAC。

8.3.8.2 采用旋转压实设计方法时，用计算确定的矿料组成和经验采用的沥青用量范围，按±0.5%和+1%间隔变化，取四组不同的沥青用量，对试验结果进行绘图，按照空隙率 4%所对应的沥青用量作为目标配合比的最佳沥青用量。

8.3.9 再生混合料性能验证

按照JTG F40或DB32/T 2798热拌沥青混合料配合比设计方法的有关规定对目标配合比设计进行检验。

8.3.10 再生混合料目标配合比设计可参照附录 D。

8.4 目标配合比设计流程图

目标配合比设计流程图见图2。

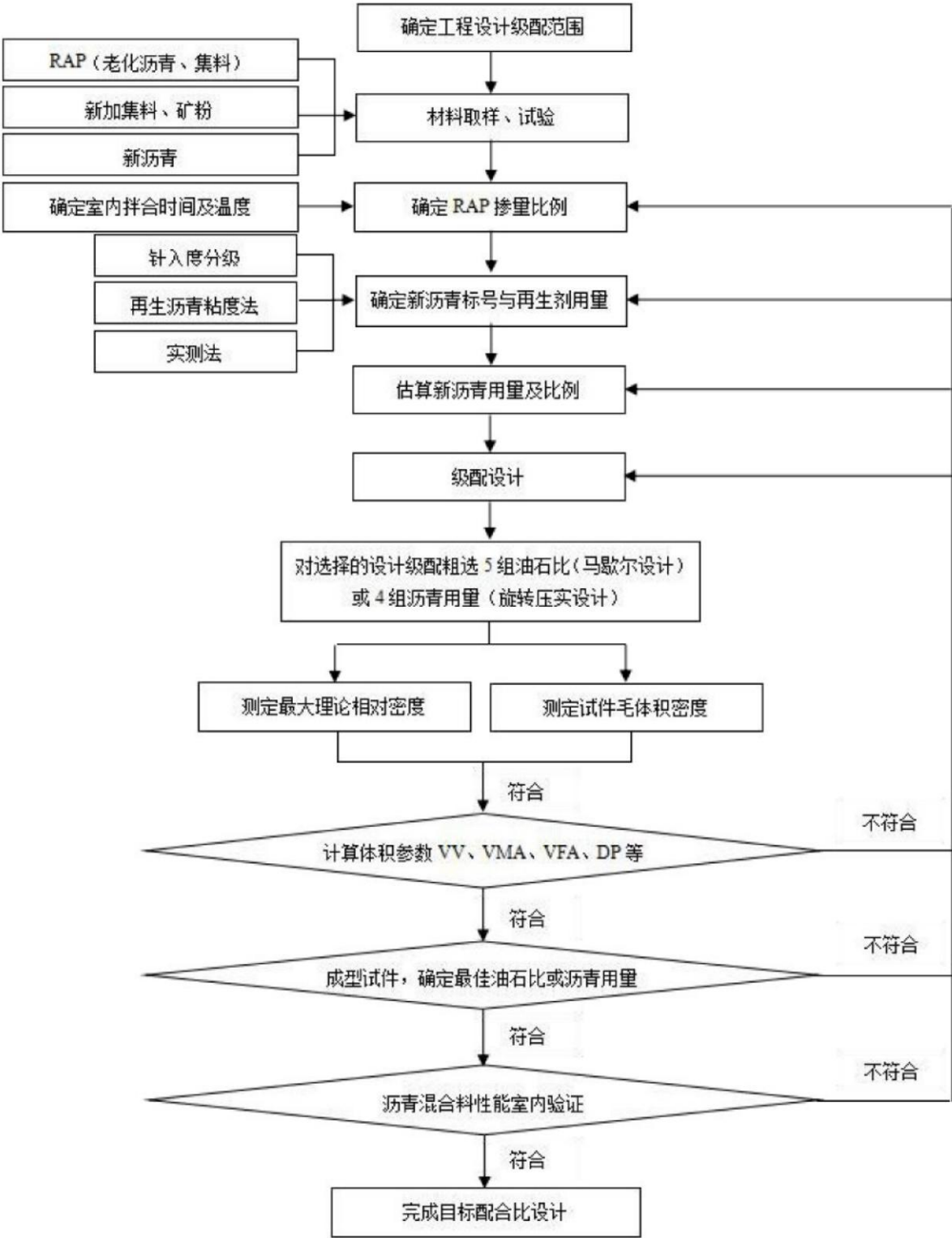


图2 目标配合比设计流程图

8.5 生产配合比设计

8.5.1 确定各热料仓矿料和矿粉的用量。必须从二次筛分后进入各热料仓的矿料取样进行筛分。

8.5.2 确定最佳油石比或沥青用量

8.5.2.1 马歇尔击实法设计，取目标配合比设计的最佳油石比 OAC 和 $OAC \pm 0.3\%$ 油石比，按目标配合比设计方法绘图分析，综合确定生产配合比的最佳油石比 OAC。

8.5.2.2 旋转压实方法设计，取目标配合比设计的最佳沥青用量和 $\pm 0.3\%$ 沥青用量，按目标配合比设计方法绘图分析，按照空隙率 4% 所对应的沥青用量，作为生产配合比的最佳沥青用量。

8.5.2.3 按照 JTG F40 或 DB32/T 2798 热拌沥青混合料配合比设计方法的有关规定对生产配合比设计进行检验。

8.6 生产配合比验证

拌和机按生产配合比结果进行试拌、铺筑试验段，并取样进行马歇尔（旋转压实）试验，同时从路上钻取芯样观察空隙率的大小，由此确定生产用的标准配合比。标准配合比的矿料合成级配中，至少应包括 0.075mm、2.36 mm、4.75mm 及公称最大粒径筛孔的通过率接近优选的工程设计级配范围的中值，并避免在 0.3mm~0.6mm 处出现“驼峰”。对确定的标准配合比，宜再次进行车辙试验、水稳定性检验和低温性能验证。

9 施工工艺

9.1 施工工艺流程图

施工工艺流程图如图3所示。

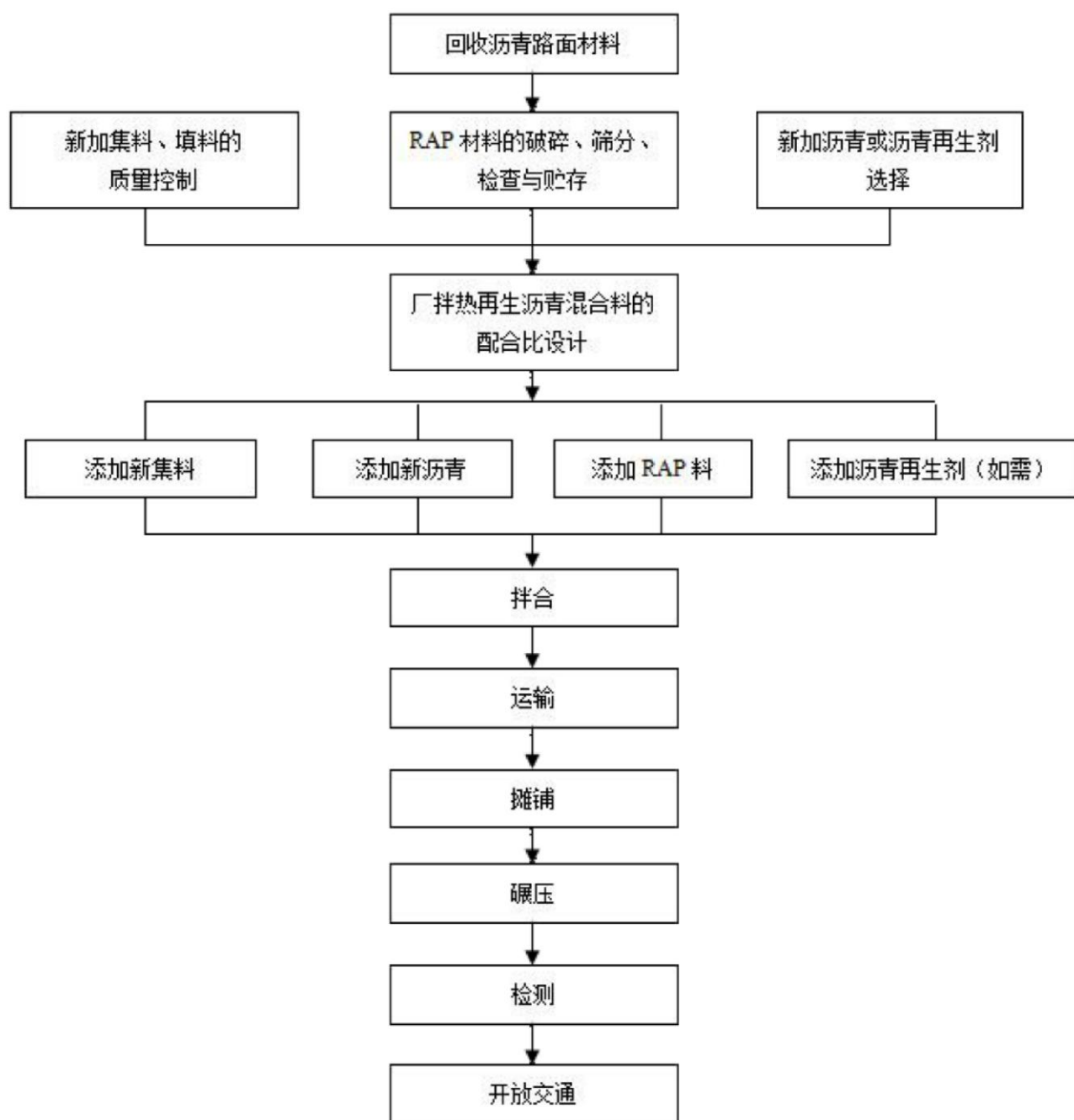


图3 施工工艺流程图

9.2 拌和设备要求

9.2.1 再生混合料的生产宜采用间歇式拌和设备，且必须配套独立烘干加热系统。独立烘干加热系统必须具备沥青混合料回收料（RAP）的配料装置和计量装置，产量应与间歇式拌和设备匹配。

9.2.2 拌和设备应配有可靠的温度检测装置。应在新加矿料、沥青、独立烘干系统、热集料仓及拌和机混合料出口处设测温装置，测温精度 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

9.2.3 配备的沥青混合料回收料（RAP）料仓数量应不少于2个，计量精度 $\pm 0.5\%$ 。

9.2.4 厂拌热再生设备宜配有精确添加沥青再生剂的控制系統。

9.3 拌和场地要求

- 9.3.1 拌和场地的设置应符合国家有关环境保护、消防、安全等规定。
- 9.3.2 拌和场地与工地现场距离应符合就近原则。
- 9.3.3 拌和场道路应做硬化处理、具有完善的排水设施、良好的通风条件，并需配备足够数量的防雨棚。

9.4 沥青混合料回收料（RAP）的回收

- 9.4.1 可选用冷铣刨、机械开挖等方式获取沥青混合料回收料（RAP）。
- 9.4.2 选用铣刨机进行冷铣刨时，应确定铣刨机的速度范围，一般不宜超过 6m/min，当原路面经过多次养护改造，路面材料变异性较大时，铣刨速度不宜超过 4m/min。
- 9.4.3 沥青混合料回收料（RAP）矿料的最大粒径应不超过再生混合料的最大粒径。
- 9.4.4 原沥青路面宜根据结构层分层进行铣刨。
- 9.4.5 铣刨后的路槽应当平整、坚实和符合规定的横坡，不得出现松散、薄的夹层等情况。

9.5 沥青混合料回收料（RAP）预处理与堆放

- 9.5.1 使用推土机、装载机等机具将一个料堆中挖除成块的沥青混合料回收料（RAP）充分混和，然后用破碎机或其他方式进行破碎、筛分预处理，不得有超粒径材料及直接使用未经预处理的沥青混合料回收料（RAP）。
- 9.5.2 沥青混合料回收料（RAP）宜采用对辊式破碎机进行破碎。
- 9.5.3 沥青混合料回收料（RAP）经过二次破碎筛分后，应分成不少于两档的材料。当分成两档时，其中小筛网的孔径宜为 10mm，大筛网的孔径应根据再生混合料的最大公称粒径合理选择筛网尺寸；当分成三档时，宜在两档基础上增加孔径为 5mm 的筛网。
- 9.5.4 经过预处理的沥青混合料回收料（RAP），可用装载机等将其转运到堆料场均匀堆放，转运和堆放过程中应避免沥青混合料回收料（RAP）离析。沥青混合料回收料（RAP）料堆高度一般宜不高于 3m。
- 9.5.5 经预处理的沥青混合料回收料（RAP）应避免长时间堆放，贮存时间宜不超过 48h。料仓中的沥青混合料回收料（RAP）应及时使用。
- 9.5.6 在使用经预处理的沥青混合料回收料（RAP）时应从料堆的底部开始在全高范围内铲料。

9.6 下承层准备

应按照 JTG F40 要求进行清扫及喷洒粘层沥青。

9.7 铺筑试验路段

- 9.7.1 试验段应选在具有代表性的主线直线段，采用两种或两种以上的试铺碾压方案，每种方案长度不少于 200m；
- 9.7.2 试验段施工包括试拌和试铺两个阶段，需要决定以下内容：
 - a) 根据各种机械的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。
 - b) 通过试拌确定：
 - 1) 拌和机的控制参数：拌和数量、时间、温度及上料速度等；
 - 2) 验证生产配合比设计和再生混合料的技术性质，决定正式生产用的矿料配合比和油石比。
 - c) 通过试铺确定：
 - 3) 检验再生混合料施工性能，评价是否利于摊铺和压实，要求混合料均匀不离析、不结块；
 - 4) 摊铺机的操作方式：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；
 - 5) 压实机具的选择、组合，压实顺序，碾压温度，碾压速度及遍数；

- 6) 施工缝处理方法。
- 7) 松铺系数。
- c) 确定施工产量及作业段的长度；
- d) 全面检查材料及施工质量是否符合要求；
- e) 修订施工组织计划，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、通讯及组织方式；
- f) 在铺筑过程中检查施工工艺、技术措施是否符合要求，并记录试验与检测结果；
- g) 当使用的原材料和混合料，施工机械、施工方法符合要求，试验段各检测结果符合规定后，编写试铺总结，经审批后作为申报正常路段开工的依据；
- h) 试验段经检验合格，作为正常路段的一部分，若不符合要求，经采取补救措施后仍无法满足使用功能的路段应铲除重铺。

9.8 再生混合料拌制

9.8.1 厂拌热再生混合料的生产温度与拌和时间应根据拌和设备的加热干燥能力、沥青混合料回收料（RAP）含水率、再生混合料的级配、新沥青的粘温曲线等综合确定，以不加剧沥青混合料回收料（RAP）的再老化，提高生产能力，降低能耗，并生产出均匀稳定的再生混合料为原则。

9.8.2 间歇式拌和设备应适当提高新集料的加热温度，但最高不宜超过 200℃。

9.8.3 再生混合料出料温度应比普通热拌沥青混合料高 5℃～15℃。新加矿料加热温度可比普通沥青混合料的矿料加热温度提高 10℃～20℃。新加矿料的加热温度可按式 4 预估，经试拌后调整、确定。拌和后再生沥青混合料的出厂温度应满足相关沥青混合料要求：

$$T' = \frac{T - T_0}{\xi} + T, \quad \xi = \frac{\alpha_1 \cdot S_2 \cdot \alpha_2 - S_2 \cdot \alpha_1}{\alpha_1 \cdot S_1 \cdot \alpha_2 - S_1 \cdot \alpha_1} \cdot n \quad (4)$$

式中：

α_1 ——矿料比热（取 0.92J/（kg·K））；

α_2 ——沥青比热（取 1.68 J/（kg·K））；

T' ——新矿料加热温度（℃）；

T ——拌和后最终温度（℃）；

T_0 ——旧沥青混合料进入拌缸时的温度（℃）；

S_1 ——旧沥青混合料中沥青含量（%）；

S_2 ——新沥青混合料中沥青含量（%）；

n ——再生沥青混合料料中的新料（新加矿料和新加沥青）与旧沥青混合料的比例。

9.8.4 沥青混合料回收料（RAP）加热时不得直接与火焰接触。

9.8.5 厂拌热再生混合料拌制的其他要求，应符合 JTG F40 对热拌沥青混合料的规定。

- 9.8.6 间歇式拌和设备在改装后可以用于拌制再生混合料。拌和楼控制室要逐盘打印沥青及各种矿料的用量和拌和温度，并定期对拌和楼的计量和测温进行校核；没有材料用量和温度自动记录装置的拌和设备不得使用。
- 9.8.7 沥青混合料回收料（RAP）进入拌缸后，先和热的新集料搅拌 10s~15s，然后加入新沥青，搅拌 30s~45s。拌和时间以生产的沥青混合料拌和均匀，无花白料，无结团成块现象为准。总拌和时间比普通热拌沥青混合料延长 15s 左右。
- 9.8.8 再生混合料工艺流程见图 4。

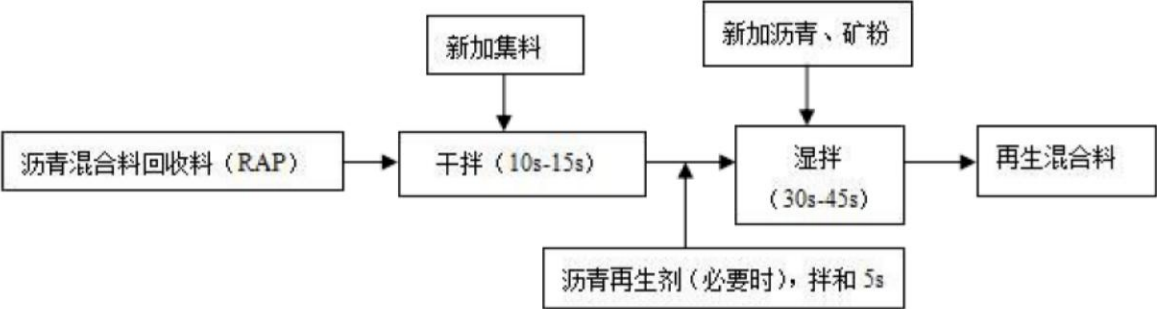


图 4 拌和楼拌和再生混合料工艺流程图

- 9.8.9 沥青再生剂添加可采用人工或机械定量投放的方式添加。
- 9.8.10 对于沥青混合料回收料（RAP）加热系统，其加热温度应在保证再生设备稳定、正常运转，沥青混合料回收料（RAP）在热再生设备中经加热后应保证连续生产，不得进行长期贮存，且在拌和楼生产过程中不得采用柴油、机油等稀释性物质作为隔离剂。再生混合料的施工温度控制范围见表 7。

表 7 再生混合料的施工温度（℃）

沥青加热温度	道路石油沥青	改性沥青
	150~160	160~170
RAP 材料加热温度	90~150（根据加热设备性能确定）	
沥青再生剂加热温度	宜 100~140	
混合料出厂温度	正常范围 150~165 超过 185℃者废弃	正常范围 175~185 超过 190℃者废弃
混合料运输到现场温度	不低于 150	不低于 165
摊铺温度	不低于 140	不低于 160
开始碾压混合料内部温度	不低于 130	不低于 150
碾压终了表面温度	不低于 70	不低于 90

- 9.8.11 每个台班结束时应打印出一个工作班材料用量和再生混合料拌和量的统计量，计算沥青及添加新材料的用量，与设计值及容许值的波动相比较，评定是否符合要求。如不符合要求时，应立即停止生产，分析原因，并采取相应的技术措施。

9.9 再生混合料运输和摊铺

- 9.9.1 再生混合料的摊铺温度宜比热拌沥青混合料高 5℃~15℃。
- 9.9.2 再生混合料运输和摊铺，应符合 JTG F40 对热拌沥青混合料的有关规定。

9.10 再生混合料压实

9.10.1 再生混合料的压实温度宜比热拌沥青混合料高 5℃～10℃。

9.10.2 压路机应以缓慢而均匀的速度碾压，采用表 8 的碾压组合方式。

表 8 压路机碾压速度 (km/h)

压路机类型	初 压		复 压		终 压	
	适 宜	最 大	适 宜	最 大	适 宜	最 大
钢轮式压路机	1.52	3	35	6	36	6
轮胎压路机	1.52	3	35	6	—	—

9.10.3 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、停止必须减速缓行，不准刹车制动。压路机折回不应处在同一横断面上。

9.10.4 在当天碾压的尚未冷却的沥青混合料层面上，不得停放压路机或其他车辆，并防止矿料、油料和杂物散落在沥青层面上。

9.10.5 初压、复压、终压段落设置明显标志，对松铺厚度、碾压顺序、压路机组合、碾压遍数、碾压速度及碾压温度应设专岗管理和检查，使面层做到既不漏压也不超压，鼓励采用智能压实系统。

9.10.6 应向压路机轮上喷洒或涂刷含有隔离剂的水溶液，喷洒应呈雾状，以不粘轮为宜。

9.11 工作缝

9.11.1 纵向施工缝

9.11.1.1 当采用两台摊铺机梯队摊铺产生的纵向接缝，应采用松铺斜接缝，以热接缝形式做一次跨接缝碾压，先摊铺层应留下 100mm～200mm 宽暂不碾压，作为后续摊铺的基准面，并跨缝一次碾压密实。

9.11.1.2 对于路面将产生的纵向冷接缝，应在混合料尚未完全冷却前用镐刨除边缘留下毛茬的方式，不宜在冷却后用切割机切割作纵向接缝。碾压时，对重叠在已铺层上的 50mm～100mm 混合料，推向新铺混合料，将压路机大部分行驶在新铺层上，压路机小部分 100mm～150mm 行驶在已铺层上，或者碾压时由热铺面向冷铺面碾压，直至留下 100mm～150mm，再跨缝压实。上、下层纵缝位置应横向错开 150mm（热接缝）以上或 300mm～400mm（冷接缝）以上。

9.11.2 横向施工缝

全部采用平接缝。在铺设当天混合料冷却但尚未结硬时，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，用凿岩机或人工用镐垂直刨除端部层后不足的部分，使接缝能成直角连接，并涂抹改性乳化沥青；继续摊铺时，刨除的断面应保持干燥，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，从先铺面层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。上、下层横缝应错开 1m 以上。

9.12 开放交通及其他

厂拌热再生沥青路面的养生及开放交通，应符合 JTG F40 对热拌沥青混合料路面的规定。

10 施工质量管理与检查

10.1.1 原材料的质量性能指标及检查频率应符合 JTG F40 对热拌沥青混合料路面中矿料的规定。

10.1.2 沥青混合料回收料 (RAP) 质量控制标准及检查频率应符合表 9 的要求。

表 9 厂拌热再生沥青路面施工过程中 RAP 的检查频率与质量要求

检查项目		质量要求		检验频率		检验方法
		高速公路和一级公路	其他等级公路	高速公路和一级公路	其他等级公路	
RAP 含水率 (%)		≤ 3		每天 1 次	每 2 天 1 次	附录 A
RAP 中集料毛体积密度		实测		每 300 吨 1 次	每 500 吨 1 次	T0722, T0304, T0330 或附录 B
RAP 矿料级配	$\leq 0.075\text{mm}$ 筛孔通过百分率 (%)	± 2	± 3	每天 1 次	每 2 天 1 次	T0722, T0303, T0327
	0.075mm 以上筛孔通过百分率 (%)	± 5	± 6	每天 1 次	每 2 天 1 次	
RAP 沥青含量 (%) 与设计偏差		± 0.3	± 0.4	每天 1 次	每 2 天 1 次	T0722 或 T0735
RAP 沥青	25℃ 针入度 (0.1mm) 与设计偏差	± 5	± 7	每 300 吨 1 次	每 500 吨 1 次	T0722, T0726, T0604
	粘度, Pa. s, 60℃ (%) 与设计偏差	± 10	± 15	每 300 吨 1 次	每 500 吨 1 次	T0722, T0726, T0620

10.1.3 施工过程中质量控制标准，应符合表 10 的要求。

表 10 施工过程中再生混合料质量和路面检查项目、频度

项目		检查频度	质量要求或允许差		试验方法
			高速公路、一级公路	其他等级公路	
施工温度		每车料 1 次	应符合表 6 的规定		温度计测定
矿料级配， 与生产设计标准级 配的差 (%)	0.075mm	逐盘在线检测	± 2	± 2	计算机采集数据计算
	$\leq 2.36\text{mm}$		± 5	± 6	
	$\geq 4.75\text{mm}$		± 6	± 7	
	0.075mm	逐机检查，每天汇总 1 次，取平均值评定	± 1	± 2	总量检验
	$\leq 2.36\text{mm}$		± 2	± 3	
	$\geq 4.75\text{mm}$		± 2	± 3	
	0.075mm	每台拌和机每天上、下午各 1 次	± 2	± 2	拌和厂取样，用抽提后的矿料筛分
	$\leq 2.36\text{mm}$		± 5	± 6	
	$\geq 4.75\text{mm}$		± 6	± 7	

表10 施工过程中再生混合料质量和路面检查项目、频度（续）

项目		检查频度	质量要求或允许差		试验方法
			高速公路、一级公路	其他等级公路	
沥青含量（油石比），与生产设计的差（%）		逐盘在线检测	±0.3	±0.3	计算机采集数据计算
		逐机检查，每天汇总1次，取平均值评定	±0.1	±0.2	总量检验
		每日每机上、下午各1次	-0.2，+0.2	-0.3，+0.3	拌和厂取样，离心法抽提
马歇尔击实或旋转压实	空隙率（%）	上下午各1次	生产配合比空隙率±1		拌和厂取样，室内成型试验
	VMA（%）	上下午各1次	生产配合比 VMA±1		
马歇尔试验：稳定度（kN）不小于		每日每机上、下午各1次	符合设计要求		拌和厂取样，室内成型试验
流值（0.1mm）			符合设计要求		
空隙率（%）			符合设计要求		
压实度（%）		每层1次/200m/车道	不小于97（旋转压实密度） 不小于98（马歇尔密度） 93-97（最大理论密度）		现场钻孔试验
厚度 不超过（mm）		1次/200m/车道	-4		钻孔检查并铺筑时随时插入量取，每日用混合料数量校核
渗水系数 不大于(ml/min)		与压实度相同	下面层：60 中面层：60 上面层：50	下面层：150 中面层：120 上面层：90	改进型渗水仪
注：针对高速公路和一级公路渗水系数合格率，中下面层应控制在80%以上，上面层应控制在90%以上。					

11 工程质量检验评定

11.1 厂拌热再生沥青路面的检验评定，应符合 JTG F80/1 对热拌沥青混合料路面的规定。

11.2 外观鉴定

11.2.1 表面平整密实、无坑洼、无明显离析。

11.2.2 施工接缝应平整、稳定。

附录 A
(规范性附录)

沥青混合料回收料(RAP)材料取样与试验分析

A.1 拌和场料堆取样

- A.1.1.1 拌和场料堆取样适用于厂拌热再生工程的前期调查,以及混合料设计用沥青混合料回收料(RAP)的获取。
- A.1.1.2 取样方法参照JTG E42粗集料料堆取样法,取样前应去除表面15cm~25cm深度范围内的沥青混合料回收料(RAP)。
- A.1.1.3 根据需要,取得足够数量的沥青混合料回收料(RAP)。

A.2 试样缩分

试样缩分有两种方法:

- a) 分料器法:将试样拌匀,通过分料器分成大致相等的两份,再取其中的一份分成两份,缩分至需要的数量为止;
- b) 四分法:将所取试样置于平板上,在自然状态下拌和均匀,大致摊平,然后从摊平的试样中心沿互相垂直的两个方向把试样向两边分开,分成大致相等的四份,取其中对角的两份重新拌匀,重复上述过程,直至缩分至所需的数量。

A.3 沥青混合料回收料(RAP)评价

A.3.1 含水率

根据烘干前后沥青混合料回收料(RAP)质量的变化,按照式(A.1)计算沥青混合料回收料(RAP)的含水量 w 。试验方法参照JTG E42,烘箱加热温度调整为60℃恒温。

$$w = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- W_w ——回收的沥青混合料回收料质量,(g);
- W_d ——回收的沥青混合料回收料烘干至恒重的质量,(g);
- W ——回收的沥青混合料回收料含水率, (%)。

A.3.2 沥青混合料回收料(RAP)级配

对沥青混合料回收料(RAP)进行筛分试验,确定沥青混合料回收料(RAP)的级配。试验方法参照JTG E42执行,材料加热温度调整为60℃恒温,采用干筛法。

A.3.3 砂当量

用4.75mm筛筛除沥青混合料回收料(RAP)中的粗颗粒,进行砂当量指标检测。试验方法按照JTG E42执行。

A.3.4 沥青混合料回收料(RAP)的沥青含量和性质

A.3.4.1 按照JTG E20阿布森法或者旋转蒸发法从沥青混合料中回收沥青。

A.3.4.2 检测沥青含量和回收沥青的25℃针入度、60℃粘度、软化点、15℃延度。

A.3.4.3 精度与允许误差。

重复性试验的允许误差为:针入度 ≤ 5 (0.1mm)、粘度 $\leq$ 平均值的10%、软化点 $\leq 2.5^{\circ}\text{C}$,复现性试验的允许误差为:针入度 ≤ 10 (0.1mm)、粘度 $\leq$ 平均值的15%、软化点 $\leq 5.0^{\circ}\text{C}$,如果超出允许误差范围,则应弃置回收沥青,重新标定、回收。

A.3.5 沥青混合料回收料(RAP)的矿料级配和集料性质

- a) 将抽提试验后得到的矿料烘干,待矿料降到室温后,用标准方孔筛进行筛分试验,确定沥青混合料回收料(RAP)中的旧矿料级配。沥青混合料回收料(RAP)的沥青含量与级配也可以采用燃烧法确定,若在燃烧过程中,集料由于高温导致破碎,则不适宜采用该法。
- b) 沥青混合料回收料(RAP)中集料性质,按照相关的部颁规范、规程进行检测。

附 录 B
(规范性附录)
沥青混合料回收料 (RAP) 密度测试方法

B.1 取样

按本标准附录A方法进行。

B.2 试样缩分

按本标准附录A方法进行。

B.3 合成毛体积密度法

B.3.1 将沥青混合料回收料 (RAP) 通过抽提溶解或燃烧炉方法得到粗细集料, 分别测试粗细集料的毛体积相对密度和表观相对密度, 最后计算合成毛体积相对密度。

B.3.2 测试步骤

- a) 首先用 9.5mm 的集料筛将沥青混合料回收料 (RAP) 进行初步筛分, 分为 $\geq 9.5\text{mm}$ 的粗混合料回收料 (RAP) 和 $< 9.5\text{mm}$ 细混合料回收料 (RAP) 两部分, 质量分别记为 M 粗和 M 细。
- b) 通过燃烧法或溶剂法分别测定 $\geq 9.5\text{mm}$ 和 $< 9.5\text{mm}$ 沥青混合料回收料 (RAP) 沥青含量和矿料级配, 并记录筛分后的合成通过率 T 粗和 T 细。
- c) 再将 $> 9.5\text{mm}$ 粗沥青混合料回收料 (RAP) 抽提所得矿料分为 $\geq 4.75\text{mm}$ 和 $< 4.75\text{mm}$ 两部分, 通过合成通过率 T 粗取 4.75mm 通过率 P1; 同样, 将 $< 9.5\text{mm}$ 沥青混合料回收料 (RAP) 抽提所得矿料分为 $> 2.36\text{mm}$ 和 $\leq 2.36\text{mm}$ 两部分, 通过合成通过率 T 细取 2.36mm 通过率为 P2。
- d) 分别测定 $\geq 4.75\text{mm}$ 、 $< 4.75\text{mm}$ 和 $> 2.36\text{mm}$ 、 $\leq 2.36\text{mm}$ 四档集料的毛体积相对密度及表观相对密度。记为四档集料毛体积相对密度为 A1、A2、A3、A4, 四档集料表观相对密度为 B1、B2、B3、B4。

B.3.3 计算方法

B.3.3.1 $\geq 9.5\text{mm}$ 粗沥青混合料回收料 (RAP) 抽提矿料合成毛体积相对密度 γ_{sb} :

$$\gamma_{sb} = \frac{100}{\left(\frac{100 - P_1}{A_1} + \frac{P_1}{A_2}\right)} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

B.3.3.2 $\geq 9.5\text{mm}$ 粗沥青混合料回收料 (RAP) 抽提矿料合成表观相对密度 γ_{sa} :

$$\gamma_{sa} = \frac{100}{\left(\frac{100 - P_1}{B_1} + \frac{P_1}{B_2}\right)} \dots\dots\dots (B. 2)$$

式中：

B. 3. 3. 3 <9.5mm细沥青混合料回收料（RAP）抽提矿料合成毛体积相对密度 γ'_{sb} ：

$$\gamma'_{sb} = \frac{100}{\left(\frac{100 - P_2}{A_3} + \frac{P_2}{A_4}\right)} \dots\dots\dots (B. 3)$$

式中：

B. 3. 3. 4 <9.5mm细沥青混合料回收料（RAP）抽提矿料合成表观相对密度 γ'_{sa} ：

$$\gamma'_{sa} = \frac{100}{\left(\frac{100 - P_2}{B_3} + \frac{P_2}{B_4}\right)} \dots\dots\dots (B. 4)$$

式中：

B. 3. 3. 5 集料合成毛体积相对密度 G_{sb} ：

$$G_{sb} = \frac{M_{粗} + M_{细}}{\frac{M_{粗}}{\gamma_{sb}} + \frac{M_{细}}{\gamma'_{sb}}} \dots\dots\dots (B. 5)$$

式中：

附 录 C
(规范性附录)
再生混合料配合比比例计算方法

C.1 比例设计

高掺量再生混合料配合比设计级配应采用沥青混合料回收料（RAP）矿料和新矿料掺配比例进行设计。

C.2 比例计算方法流程图



图 C.1 比例计算方法流程图

C.3 计算公式

C.3.1 添加RAP的矿料的量， M_1 （%）为：

$$M_1=[M_2 \times (1-A)] \times 100 \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

M_2 ——再生混合料中RAP占再生混合料总质量的百分比，（%）；

A ——沥青混合料回收料的沥青含量，（%）。

C.3.2 添加的RAP沥青的量 M_3 （%）为：

$$M_3=M_2A \times 100 \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

C.3.3 RAP集料占再生混合料中全部矿料比例 R_1 （%）为：

$$R_1 = \frac{M_1}{1 - M_3} \times 100 \dots\dots\dots (C. 3)$$

式中：

C. 3. 4 RAP中沥青占再生混合料中全部矿料比例R₂为：

$$R_2 = \frac{M_3}{1 - M_3} \times 100 \dots\dots\dots (C. 4)$$

式中：

C. 3. 5 沥青混合料回收料（RAP）沥青占再生混合料中沥青总量的比例R₃为：

$$R_3 = \frac{R_2}{Y/1 - Y} \times 100 \dots\dots\dots (C. 5)$$

式中：

Y——再生混合料配合比设计的估算沥青用量，（%）；

C. 3. 6 新加沥青用量B为：

$$B = [Y \times (1 - R_3)] \times 100 \dots\dots\dots (C. 6)$$

式中：

附 录 D
(规范性附录)
厂拌热再生配合比设计实例

D.1 原材料

D.1.1 本次目标配合比设计铣刨料掺量为沥青混合料质量的40%。沥青再生剂掺量为RAP沥青的10%。
D.1.2 依据要求进行了新加矿料和沥青混合料回收料（RAP）筛分密度试验（试验结果见表D.1）及沥青密度（试验结果见表D.2）。

表 D.1 集料、矿粉相对密度试验结果表

矿 料	表观相对密度	毛体积相对密度	吸水率（%）
1# 料	2.803	2.745	0.75
2# 料	2.800	2.718	1.08
3# 料	2.802	2.716	1.13
4# 料	2.805	2.700	1.39
细集料	2.720	2.612	1.52
沥青混合料回收料矿料（粗）	2.700	2.638	0.87
沥青混合料回收料矿料（细）	2.702	2.659	0.60
矿 粉	2.706	----	----
注：铣刨的矿料的相对密度是由沥青混合料回收料（RAP）抽提得到的矿料经2.36mm的筛孔过筛后，分为>2.36mm和≤2.36mm并分别测试其相对密度，再根据2.36mm的通过率加权平均得到。			

表 D.2 沥青相对密度试验结果表

沥青品种	沥青相对密度
SBS 改性沥青	1.028

D.2 矿料及沥青混合料回收料筛分结果

沥青混合料回收料抽提筛分试验结果见表D.3，矿料筛分结果见表D.4。

表 D.3 沥青混合料回收料（RAP）沥青含量及矿料级配结果

类型	油石比 (%)	通过方孔筛的百分率 (%)											
		26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
沥青混合料回收料 矿料（粗）	5.9	100	98.2	87.4	63.8	45.3	30.4	22.2	16.4	12.5	9.1	7.3	6.5
沥青混合料回收料 矿料（细）	2.8	100	100	100	99.2	95.4	79.6	60.0	44.1	30.5	21.5	17.3	15.5

表 D.4 矿料的筛分试验结果表

矿料	通过方孔筛（筛孔尺寸：mm）的百分率（%）											
	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
1# 料	100	67.8	32.7	7.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2# 料	100	100	100	87.6	12.1	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
3# 料	100	100	100	100	91.2	5.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.4
4# 料	100	100	100	100	100	79.9	7.2	1.7	1.3	1.2	1.1	0.6
细集料	100	100	100	100	100	99.8	86.8	56.6	36.9	21.9	15.4	12.2
矿粉	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96.8	89.2

D.3 沥青混合料级配要求

依据JTG F40的设计要求，AC-20沥青混合料级配要求见表D.5。

表 D.5 AC-20 沥青混合料级配要求

筛孔 (mm)	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
上限 (%)	100	100	92	80	72	56	44	33	24	17	13	7
下限 (%)	100	90	78	62	50	26	16	12	8	5	4	3

D.4 初选级配

依据JTG F40的设计要求，在选择混合料结构时，根据集料的筛分结果首先初选出粗、中、细三个级配（级配1、级配2、级配3），然后根据当地的工程实际应用情况选择油石比，分别制作马歇尔试件，得出试件的体积指标，根据体积指标初选一组满足或接近设计要求的级配作为设计级配。表D.6为三个级配的矿料比例明细表，表D.7是三种矿料的合成级配明细表，图D.1为三种级配曲线图。

表 D. 6 三种级配的矿料比例明细表

级配	矿料比例 (%)							
	1#	2#	3#	4#	细集料	沥青混合料回收料 (粗)	沥青混合料回收料 (细)	矿粉
级配 1	29.4	13.0	15.0	0.0	22.0	24.7	15.3	0.5
级配 2	27.4	12.0	14.0	0.0	26.0	24.7	15.3	0.5
级配 3	25.4	11.0	13.0	0.0	30.0	24.7	15.3	0.5

表 D. 7 三种矿料的合成级配通过率明细表

级配 类型	通过下列筛孔 (方孔筛, mm) 的质量百分率 (%)											
	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配 1	100	93	83	70	52	35	28	20	14	9	7	6
级配 2	100	93.8	84.8	72.8	56.2	38.5	30.6	21.4	15.0	10.0	7.8	6.6
级配 3	100	94	86	75	60	44	36	25	17	11	9	7

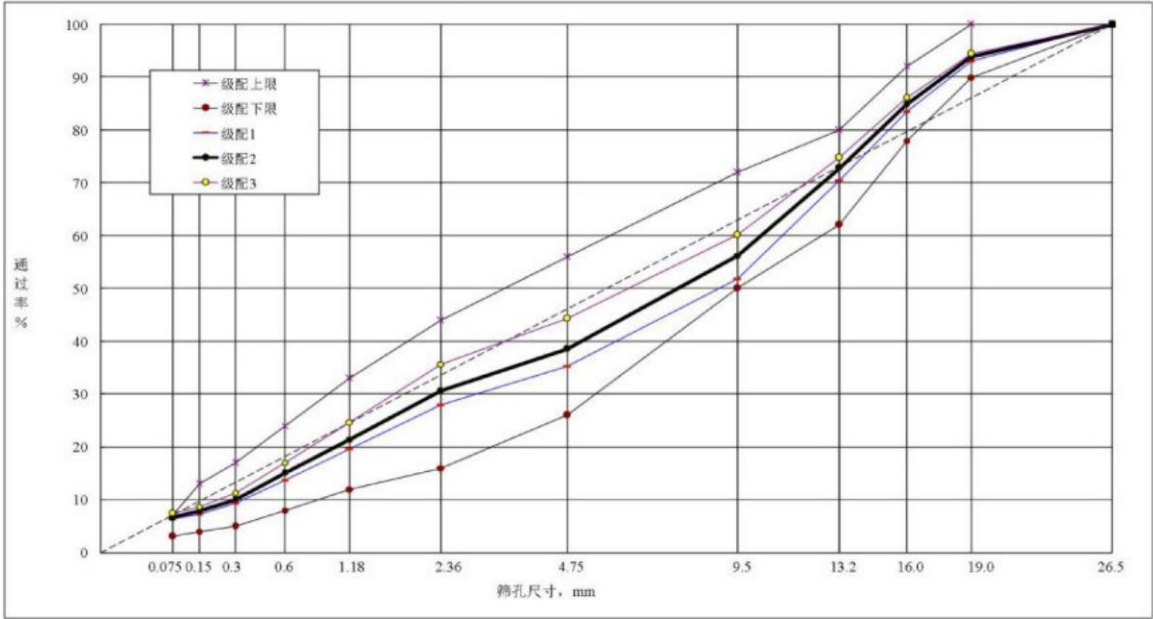


图 D. 1 AC-20 型三种试级配曲线图

D. 5 试验级配评价

参照以往沥青路面AC-20目标配合比的工程应用情况，选择油石比4.7%作为三种试级配用油石比，根据抽提试验结果计算得到沥青混合料回收料（RAP）的油石比为1.86%，为使混合料的总油石比达到4.7%，故仅需额外添加2.67%的新沥青。双面各击实75次成型马歇尔试件。马歇尔试验结果汇总如表D. 8所示。

表 D.8 三种试级配马歇尔试验结果汇总表

级配	体积指标					
	油石比 (%)	试件毛体积相 对密度	实测理论最大 相对密度	空隙率 VV (%)	矿料间隙率 VMA (%)	饱和度 VFA (%)
级配 1	4.7	2.403	2.547	5.7	14.6	61.3
级配 2	4.7	2.430	2.544	4.5	13.5	66.7
级配 3	4.7	2.455	2.541	3.4	12.4	72.8
技术要求	/	/	/	4~6	*	65~75
注：要求空隙率4%、5%、6%所对应的VMA最小值分别为13%、14%、15%，当空隙率不是整数时，由内插确定要求的VMA最小值。						

可以看出级配2体积指标满足要求，级配1和级配3体积指标不满足要求，因此结合当地情况及实践经验，本次设计选择级配2为设计级配。

D.6 马歇尔稳定度试验

按设计矿料比例配料，采用五种油石比进行马歇尔稳定度试验，试验结果见表D.9。

表 D.9 AC-20 设计级配马歇尔稳定度试验结果

级配 类型	油石 比 (%)	试件毛体 积相对 密度	实测理论 最大相对 密度	空隙率 VV (%)	矿料间隙率 VMA (%)	饱和度 VFA (%)	稳定度 (kN)	流值 (0.1mm)
AC-20	3.7	2.400	2.581	7.0	13.7	48.9	10.12	22.2
	4.2	2.415	2.562	5.7	13.6	57.8	12.54	27.8
	4.7	2.430	2.544	4.5	13.5	66.7	14.78	32.5
	5.2	2.441	2.526	3.4	13.5	75.1	12.13	36.4
	5.7	2.449	2.509	2.4	13.6	82.4	9.94	41.3
要 求	/	/	/	4~6	*	65~75	≥8	15~40

D.7 最佳油石比确定

D.7.1 表D.9为设计级配马歇尔试验结果，根据试验结果分别绘制密度、空隙率、稳定度、流值、矿料间隙率、饱和度与油石比的关系曲线，从曲线上找出相应于最大密度、最大稳定度、目标空隙率（或中值）及沥青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OAC1；如果对选择试验的油石比范围，密度或稳定度没有出现峰值，可直接以目标空隙率所对应的油石比作为OAC1。然后，以各项指标均满足沥青混凝土各项标准要求的油石比范围（OACmax，OACmin）的中值为OAC2。

D.7.2 如果最佳油石比的初始值OAC1在OACmax与OACmin之间，则认为设计结果是可行的，可取OAC1与OAC2的中值作为目标配合比的最佳油石比OAC，并结合当地的气候特点和实际情况得出最佳油石比。如果OAC1不在OACmax与OACmin之间，则需要重新进行配合比设计。

D. 7.3 图D. 2为密度、空隙率、稳定度、流值、矿料间隙率、饱和度与油石比的关系图。根据关系图可知，试件毛体积相对密度没有出现峰值，设目标空隙率为4. 5%所对应的油石比为4. 70%，即OAC1为4. 70%。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. 59%~4. 91%，其中值为4. 75%，即为OAC2。OAC1与OAC2的平均值为4. 72%，根据设计经验和当地气候条件取油石比4. 7%为最佳油石比。

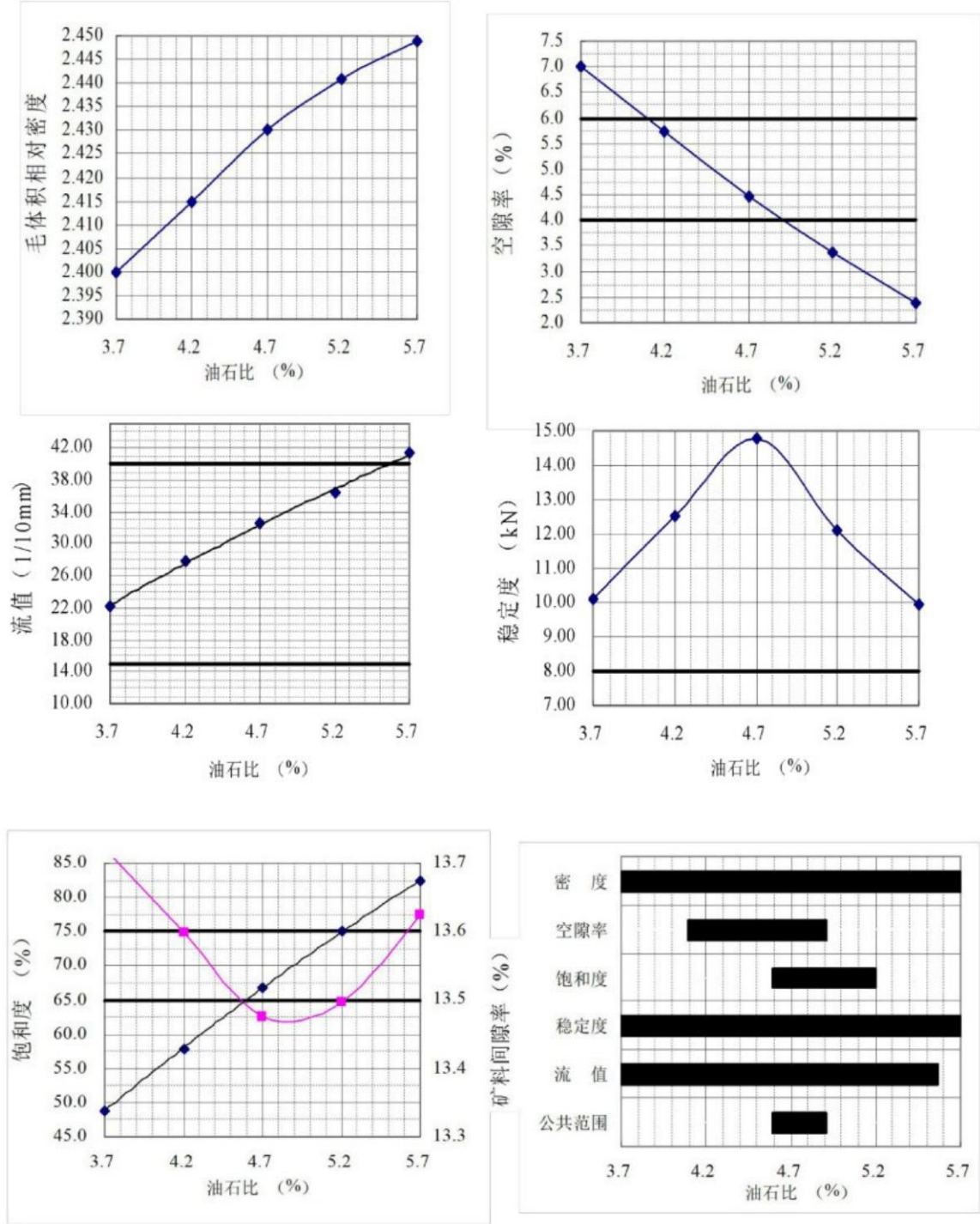


图 D.2 密度、空隙率、饱和度、VMA、稳定度及流值与油石比的关系图

D. 8 设计结果

根据上述试验分析，选择级配2为设计级配，矿料比例为1#：2#：3#：4#：细集料：粗沥青混合料回收料（RAP）：细沥青混合料回收料（RAP）：矿粉 =18.0%：12.0%：12.0%：0.0%：17.5%：24.7%：15.3%：0.5%，油石比为4.7%，相对应的沥青混合料性质如表D.10所示。

表 D.10 沥青混合料体积性质

混合料特性	设计结果	技术要求
试件毛体积相对密度	2.430	/
计算理论最大相对密度	2.544	/
空隙率 VV (%)	4.5	4~6
矿料间隙率 VMA (%)	13.5	≥13.5
饱和度 VFA (%)	66.7	65~75
P _{be} ^a (%)	3.805	/
V _{be} ^b (%)	8.995	/
V _g ^c (%)	86.523	/
粉胶比 FB	1.577	宜 0.6~1.6
DA ^d (μm)	7.091	/
稳定度 MS (kN)	14.78	≥8
流值 FL (0.1mm)	32.5	15-40
^a P _{be} ——沥青混合料中有效沥青用量，% ^b V _{be} ——有效沥青的体积百分率，% ^c V _g ——矿料的体积百分率，% ^d DA——沥青膜有效厚度，μm		

D.9 沥青混合料检验

D.9.1 水稳定性检验

根据设计油石比及级配进行浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验来检验设计沥青混合料的水稳定性能。试验结果分别见表D.11和表D.12。

表 D.11 浸水马歇尔稳定度试验结果

混合料类型	非条件 (0.5h)			条件(48h)			残留稳定度 MS ₀ (%)	要求 (%)
	空隙率(%)	稳定度 (kN)	流值(0.1mm)	空隙率 (%)	稳定度 (kN)	流值 (0.1mm)		
AC-20	4.5	14.99	32.2	4.4	12.44	34.7	86.1	≥85
	4.7	15.01	30.6	4.7	13.16	35.6		
	4.6	14.51	31.4	4.5	12.73	35.1		
平均值	4.6	14.84	31.4	4.5	12.78	35.1		

表 D.12 冻融劈裂试验结果

混合料类型	非条件		条件		TSR (%)	要求 (%)
	空隙率 (%)	劈裂强度 (MPa)	空隙率 (%)	劈裂强度 (MPa)		
AC-20	5.6	1.6493	5.8	1.3050	83.3	≥80
	5.7	1.6890	5.6	1.3319		
	5.8	1.5000	5.7	1.3344		
	5.8	1.6233	5.4	1.4088		
平均值	5.7	1.6154	5.6	1.3450		

D.9.2 高温稳定性试验

在60±1℃，0.7±0.05MPa条件下进行车辙试验来检验沥青混合料的高温稳定性，车辙试件空隙率及动稳定度试验结果分别见表D.13及表D.14所示。

表 D.13 车辙试件空隙率汇总表

试件组数	试件编号	试件毛体积 相对密度	实测理论最大 相对密度	空隙率 (%)
1	1	2.415	2.544	4.6
	2	2.419		4.7
	3	2.411		4.8
	4	2.416		4.6
	平均值	2.415		4.7
2	1	2.411		4.8
	2	2.415		4.9
	3	2.413		4.7
	4	2.413		4.6
	平均值	2.413		4.8
3	1	2.412		4.6
	2	2.415		4.5
	3	2.416		4.3
	4	2.416		4.7
	平均值	2.415		4.5

表 D. 14 车辙试验动稳定度

混合料类型	油石比 (%)	动稳定度 (次/mm)					变异系数 (%)	要求 (%)
		1	2	3	平均	要求	4.9	≤20
AC-20	4.7	7778	7159	7159	7365	≥2800		

D. 10 低温抗裂性检验

在试验温度-10℃，速率50mm/min的条件下进行低温弯曲试验来检验沥青混合料的低温性能。试验结果见表D.15。

表 D. 15 小梁弯曲试验结果

试件编号	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 (με)	要求 (με)
1	0.997	0.487	8.10	3150.3	2571.4	≥2500
2	1.013	0.501	7.95	3029.7	2622.7	
3	0.954	0.493	7.52	2864.4	2625.2	
4	1.213	0.490	9.20	3455.9	2660.7	
5	1.000	0.477	7.89	3125.3	2525.7	
6	0.951	0.488	7.76	3030.2	2562.0	
平均	1.021	0.489	8.07	3109.3	2594.6	

D. 11 室内配合比设计

厂拌热再生AC-20改性沥青混合料进行目标配合比设计，得出如下结论：

表 D. 16 矿料配合比及油石比

级配类型	下列各种矿料所占比例 (%)								油石比 (%)		
	1#	2#	3#	4#	细集料	粗沥青混合料回收料矿料	细沥青混合料回收料矿料	矿粉	沥青混合料回收料油石比	新添加油石比	总油石比
AC-20	20.0	12.0	12.0	0.0	17.5	24.7	15.3	0.5	1.86	2.67	4.7

表 D. 17 最佳油石比及体积指标

级配类型	油石比 (%)	试件毛体积相对密度	计算理论最大相对密度	空隙率 VV (%)	矿料间隙率 VMA (%)	饱和度 VFA (%)
AC-20	4.7	2.430	2.544	4.5	13.5	66.7
