

公路沥青路面厂拌热再生技术规范

Technology specification of asphalt pavement hot recycling in plant

2018 - 04 - 12 发布

2018 - 05 - 12 实施

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定语	1
4 原沥青路面调查与分析	2
5 路面结构层设计	3
6 材料	4
7 配合比设计	6
8 施工	10
附录 A（规范性附录） 原路面探坑调查与 RAP 取样分析	17
附录 B（规范性附录） 原沥青路面 RAP 回收铣刨机铣刨速度试验	21
附录 C（规范性附录） RAP 掺量和热再生沥青混合料的适用范围	23
附录 D（规范性附录） 厂拌热再生沥青混合料拌和设备的要求	25
附录 E（资料性附录） 厂拌热再生沥青混合料在浙江省某省道的应用	26

前 言

本标准依据GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由浙江省交通运输厅提出并归口。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准起草单位：浙江省嘉兴市公路管理局，嘉兴市高新交通技术测评研究院，上海理工大学。

本标准主要起草人：方建义、拾方治、陈鸿、刘端阳、曹铭辉、陈州彤、曹建明、朱建德、李秀君、沈佳、杨永伟、朱春东、付欣、高德明、李飞泉、林育萍、张志却、陆华、赵劫昶、沈国权、熊建祥。

公路沥青路面厂拌热再生技术规范

1 范围

本规范规定了公路沥青路面厂拌热再生原路面调查与分析、路面结构层设计、材料、配合比设计、施工和质量检验等的技术要求。

本规范适用于公路沥青路面厂拌热再生的设计、施工与质量检验。

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，仅所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 12523 建筑施工场界环境噪声排放标准

GB 16297 大气污染物排放标准

GB/T 25641 道路施工与养护机械设备-沥青混合料厂拌热再生设备

JTG D50-2017 公路沥青路面设计规范

JTG E20-2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程

JTG E42-2005 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 F40-2004 公路沥青路面施工技术规范

JTG F41-2008 公路沥青路面再生技术规范

JTG F80/1-2004 公路工程质量检验评定标准

JTG H20-2015 公路技术状况评定标准

JTG/T D33 公路排水设计规范

DB33/T 896 高等级公路沥青路面设计规范

3 术语和定语

JTG F40-2004 、JTG F41-2008界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

回收沥青路面材料 reclaimed asphalt pavement (RAP)

采用铣刨、开挖等方式从沥青路面上获得的旧沥青路面材料。

[JTG F41-2008, 术语2.1.1。]

3.2

RAP等级 grade of RAP

通过对RAP中沥青针入度的检测结果，按照针入度等级将RAP划分若干个质量等级。

3.3

厂拌热再生 central plant hot recycling

将回收沥青路面材料（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、再生剂（必要时）等拌制成热拌再生混合料铺筑路面的技术。

[JTG F41-2008，术语2.1.3。]

3.4

热再生沥青混合料级配 gradation of recycled mixture

热再生沥青混合料中RAP中的矿料与新矿料的合成级配。

4 原沥青路面调查与分析

4.1 一般规定

4.1.1 应对拟实施厂拌热再生的原沥青路面进行全面的调查和技术状况评定，并对其厂拌热再生的适应性和施工操作性进行充分论证。

4.1.2 对拟使用原沥青路面材料进行厂拌热再生利用的，按照附录 A 的要求对原沥青路面进行取样和分析。

4.2 原路面历史信息调查

4.2.1 收集原沥青路面交通资料、路面结构、材料组成和各结构层材料配合比设计、竣工验收等资料。

4.2.2 收集原沥青路面营运期间的维修段落、维修工艺、维修材料等维修养护资料。

4.2.3 调查原沥青路面现状，包括路面损坏状况指数 PCI、路面行驶质量指数 RQI、路面车辙深度指数 RDI、路面抗滑性能 SRI 和路面结构强度指数 PSSI 等技术资料。

4.3 原路面状况调查与评价

4.3.1 根据 JTG H20 规定的方法、频率和指标要求对原路面技术状况进行调查和综合评定。

4.3.2 根据原路面状况调查结果，按照路面技术状况相同或者接近的标准划分路段，子路段面积不宜大于 $50000 m^2$ ，且不宜小于 $5000 m^2$ 。

4.3.3 按照附录 A 的规定对原沥青路面进行探坑调查。

4.4 RAP 评价

4.4.1 铣刨后的 RAP 应按照本规范 6.3.2 规定进行检测，明确 RAP 各种成分及含量。

4.4.2 根据 RAP 中老化沥青的针入度，按照本规范 6.3.3 的规定划分 RAP 等级。

4.5 交通量调查

4.5.1 交通量调查和分析应符合 JTG D50 中相关规定。

4.5.2 应根据路面设计使用年限，按照 JTG D50-2017 附录 A 确定的当量设计轴载累计作用次数，为再生路面结构的设计厚度提供依据。

4.5.3 计算预估施工期间的高峰小时交通量，为施工组织方案的制定提供依据。

5 路面结构层设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 厂拌热再生沥青混凝土用于沥青路面结构层时，其路面结构组合设计应符合 JTG D50 的规定。
- 5.1.2 厂拌热再生沥青路面结构组合设计时应按照 DB 33/T 896-2013 附录 A 气候分区的规定，充分考虑浙江各分区的气温、降雨量及地质特点合理确定各结构层的技术要求。
- 5.1.3 厂拌热再生沥青混凝土不宜用作高速公路、一级公路沥青路面的表面层；作为沥青路面中下面层时，其上覆沥青层不宜为开级配沥青混凝土，并在再生层上增设应力吸收防水粘结层。
- 5.1.4 热再生沥青混凝土层宜采用密级配沥青混合料，不宜采用开级配沥青混合料，并按照 JTG/T D33 的规定，加强再生路面结构的排水设计。
- 5.1.5 厂拌热再生沥青混凝土路面含有多层厂拌热再生沥青混凝土时，上层热再生沥青混凝土中 RAP 等级不应低于下层热再生沥青混凝土。

5.2 设计方法

- 5.2.1 厂拌热再生沥青混凝土路面应按 JTG D50-2017 中 7.4 条规定进行路面结构验算，路面使用性能设计指标应符合 JTG D50-2017 中 3.0.6 和 3.0.7 条规定，不符合时调整路面结构方案，重新验算直至符合为止。
- 5.2.2 厂拌热再生沥青混凝土层疲劳开裂验算和永久变形量验算均按照新拌沥青混凝土层执行。
- 5.2.3 根据公路等级、交通等级、环境特征、结构层位以及路用性能等因素确定厂拌热再生沥青混合料的类型。

5.3 设计参数

- 5.3.1 厂拌热再生沥青混合料动态压缩模量应根据 JTG D50-2017 第 5.1.4 的规定，依据相应的水平确定。其中水平三，可按照表 1 给出的范围，确定厂拌热再生混凝土动态压缩模量。RAP 掺量为 40% 时，设计参数取上限；RAP 掺量在 0~40% 之间的设计参数，线性内插确定。

表1 20℃条件下厂拌热再生沥青混合料动态压缩模量取值范围（MPa）^a

级配类型	沥青种类 ^b		
	50 号	70 号	90 号
AC-13	8500~12500	8000~12000	7500~11500
AC-16、AC-20	9500~14000	9000~13500	8500~13000
AC-25	9000~13500	8500~12500	8000~12000
ATB-25 ^c	7500~11500	7000~11000	6500~11000

^a 沥青粘度大、级配好或空隙率小时取高值，反之取低值；

^b 沥青种类是指 RAP 中沥青与新沥青、再生剂混合后再生沥青所处的标号；

^c ATB-25 为 5Hz 条件下动态压缩模量，其他再生沥青混合料为 10Hz 条件下的动态压缩模量。

- 5.3.2 新拌沥青混合料、水泥稳定碎石等材料设计参数的取值，按照 JTG D50 执行。

5.4 设计厚度

- 5.4.1 热再生沥青混凝土层的厚度应与混合料的公称最大粒径相匹配，一层压实最小厚度不宜小于混合料公称最大粒径的 2.5 倍。

5.4.2 热再生沥青混凝土压实最小厚度与适宜厚度可按照 JTG D50 中同级配类型新拌沥青混合料进行选择，用作表面层时最小厚度不宜小于 5cm。

6 材料

6.1 一般规定

6.1.1 厂拌热再生沥青混合料使用的各种材料运至现场后应进行质量检验，经评定合格后方可使用。

6.1.2 根据工程要求、公路等级、使用层位、气候条件、交通情况、RAP 等级以及成功经验，合理选择厂拌热再生沥青混合料所需的各种材料。

6.2 新料

6.2.1 沥青

添加的沥青应符合 JTG F40 中相关技术要求。沥青标号和指标的选定宜根据公路等级、气候条件、交通条件、RAP 应用要求、路面类型及结构层的层位及受力特点、施工方法等，结合当地的使用经验综合确定。

6.2.2 新集料和矿粉

新添加的粗集料、细集料和矿粉应符合 JTG F40 的相关技术要求。

6.2.3 再生剂

再生剂的质量宜满足表2的要求。

表2 再生剂质量要求

检测项目	RA-1	RA-5	RA-25	RA-75	RA-250	试验方法
60℃黏度 (cSt)	50~175	176~900	901~4500	4501~1250	12501~37500	T0619
闪点(℃)	≥220					T0633
饱和分含量 (%)	≤30					T0618
薄膜烘箱试验 前后黏度比 ^a	≤3					T0619
薄膜烘箱试验 前后质量变 化,不大于(%)	±4	±4	±3	±3	±3	T0609 或 T0610
15℃密度	实测记录					T0603
^a 薄膜烘箱试验前后黏度比=试样薄膜烘箱试验后黏度/试样薄膜烘箱试验前黏度。						

6.3 RAP

6.3.1 RAP 的回收

RAP 应按以下要求进行回收：

- a) 应根据原路面调查及 RAP 材料评价结果（沥青含量、老化程度和集料级配分布情况）确定铣刨段落和厚度，分段、分层回收；
- b) 正式铣刨前，按照附录 B 进行铣刨试验。通过比较不同铣刨速度的 RAP 级配，确定合适的铣刨速度。

6.3.2 RAP 的检测

RAP 的检测和评定应满足以下要求：

- a) RAP 的检测指标按照表 3 执行；

表3 RAP 检测项目

材料	检测项目	试验方法
RAP	含水量 (%)	本规范附录A
	含泥量 (%)	
	RAP 矿料级配	
	沥青含量 (%)	
	砂当量 (%)	
RAP 中的沥青	针入度 (0.1mm) (25℃, 100g, 5s)	抽提法, JTG E20
	黏度 (Pa·s) (60℃)	
	软化点 TR&B (℃)	
	延度 (cm) (15℃)	
RAP 中的粗集料	针片状颗粒含量 (%)	抽提法, JTG E42
	压碎值 (%)	
RAP 中的细集料	棱角性 (s)	

- b) 按照 JTG F40 的有关要求评定 RAP 中集料和沥青；
- c) RAP 集料不符合 JTG F40 相关技术要求时，但新旧集料混合后的集料质量符合 JTG F40 要求的，可以使用。

6.3.3 RAP 等级划分

根据表4的检测结果，对RAP进行等级分类。

表4 RAP 等级标准

材料	检测项目	RAP 分类定级标准				试验方法
		一等	二等	三等	四等	
RAP 中沥青	针入度 (0.1mm) (25℃, 100g, 5s)	≥40	≥30; <40	≥20; <30	<20	抽提法, JTG E20

6.3.4 RAP 的预处理与堆放

回收的 RAP 应按照以下方法进行预处理和堆放：

- a) 一个料堆的 RAP 应充分混合，避免粗细离析，同时筛除和破碎超粒径 RAP，保证 RAP 最大粒径小于再生沥青混合料的最大公称粒径；
- b) 根据 RAP 应用的层位，按照附录 C 进行分档；
- c) RAP 堆场应经过硬化处理且排水通畅，场地应具备防雨、防风和防晒等措施；

- d) 不同来源、不同规格的 RAP 应分类堆放，不得混杂；
- e) RAP 堆放时间不宜超过 6 个月，堆放高度不宜超过 3m。

7 配合比设计

7.1 一般规定

7.1.1 厂拌热再生沥青混合料的配合比设计应满足工程项目性能使用要求，并综合考虑经济、技术和施工的要求。

7.1.2 厂拌热再生沥青混合料配合比设计包括三个阶段，即目标配合比设计、生产配合比设计和生产配合比验证。

7.1.3 厂拌热再生沥青混合料宜采用马歇尔设计方法进行配合比设计。如采用其他设计方法设计，应按照马歇尔设计方法进行检验，满足要求时方可使用。

7.1.4 应严格控制 RAP 的掺配率、加热温度和沥青用量，以保证厂拌热再生沥青混合料具有良好水稳定性、低温抗裂性和高温稳定性。

7.2 目标配合比设计

7.2.1 目标配合比设计流程

目标配合比设计应按照图1所示的流程进行。

7.2.2 矿料级配范围

根据厂拌热再生沥青混合料的类型，其级配应符合JTG F40规定的相应热拌沥青混合料级配范围要求。

7.2.3 RAP 掺量确定

RAP掺量的确定应按照以下方法进行：

- a) 如工程所在地没有成熟经验，应按照附录 C 的规定，确定不同等级 RAP 的最大掺量；
- b) RAP 具体掺量需根据路用性能、公路等级、结构层位，RAP 等级、交通荷载、区域环境特点等信息，并充分参考当地工程经验、沥青拌和厂的生产能力的实际情况综合确定；
- c) RAP 掺量范围不宜超过 40%；当 RAP 掺量超过 40%时，需要通过室内试验，以及试验路综合验证评定，合格后方可使用。

7.2.4 新沥青标号确定和再生剂的选择

根据RAP的性质和掺配比例，按照表5选择新沥青等级和是否使用再生剂。

表5 新沥青等级选择

新沥青等级和再生剂选择	RAP 等级和掺量		
	一等	二等	三等
采用 RAP 中原沥青路面沥青标号	<30	<20	<10
新沥青针入度比 RAP 中原沥青路面沥青标号增加 10 (0.1mm)；或添加再生剂	30~40	20~30	10~15
添加再生剂，运用新旧沥青混合调和法则确定。	>40	>30	>15

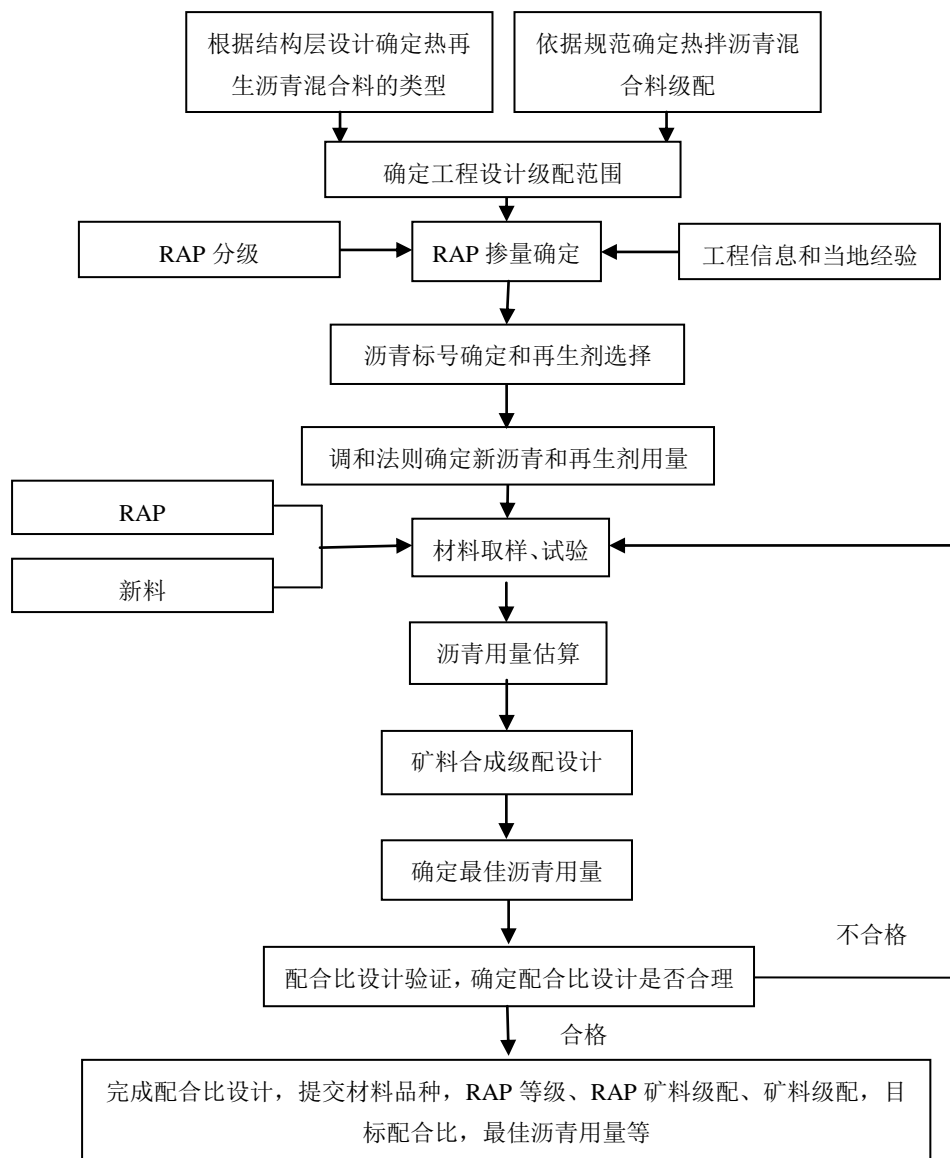


图1 厂拌热再生沥青混合料目标配合比设计流程图

7.2.5 调和法则确定新沥青和再生剂

新沥青和再生剂按照以下方法确定：

- a) 根据新旧沥青混合调和法则确定新沥青标号、用量和再生剂用量；

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

式中：

η_{mix} —混合后沥青的60℃黏度 (Pa · s) ；

α —新沥青的比例， $\alpha = \frac{P_{nb}}{P_b}$ ；

P_{nb} —热再生沥青混合料的新沥青用量 (%) ；

P_b —热再生沥青混合料的总沥青用量（%）；

η_{new} —混合前新沥青60℃黏度（Pa·s）；

η_{old} —混合前旧沥青60℃黏度（Pa·s）。

- b) 根据黏度 确定新沥青标号和新沥青用量；根据 JTG F41-2008 附录 B 的规定，确定是否使用再生剂及再生剂品种和用量；
- c) 根据新旧沥青掺配比例和再生剂掺量，进行新旧沥青掺配试验，验证热再生沥青标号（调和沥青）是否达到目标标号，否则应重新选择沥青或者改变掺配比例。

7.2.6 材料取样、试验

根据本规范6.3.2规定，实测RAP的技术性能；根据本规范6.2和JTG F40的规定，实测新料的技术性能。

7.2.7 沥青用量估算

按照以下方法估算沥青用量：

a) 估算总沥青用量

按照如下方法估算总沥青用量：

- 1) 当 RAP 掺量超过 20%时，可以根据 JTG F41 所给出的公式估算总沥青用量；
- 2) 当 RAP 掺量不超过 20%时，密级配热再生沥青混合料的总沥青用量等于同级配类型全新料拌制的沥青混合料沥青用量。

b) 估算新沥青用量

按照JTG F41所给出计算公式，估算新沥青用量。

7.2.8 矿料合成级配设计

按照以下方法进行矿料合成级配设计：

- a) 按照附录 A 的要求，确定 RAP 的级配组成；
- b) 根据 RAP 的老化程度、RAP 矿料级配变异情况及工程实际、沥青混合料类型与使用层位、拌和设备类型与加热干燥能力、新集料性质等，确定新集料与 RAP 掺配比例；
- c) 将预处理后的 RAP 粗细两档矿料分别作为再生混合料中一种矿料与新集料进行合成级配设计。

7.2.9 确定最佳新沥青用量

按照以下方法确定新沥青用量：

- a) 以估算的新沥青用量为中值，以 0.5 为间隔成型 5 组马歇尔试件，按照 JTG F40 的马歇尔方法确定最佳新沥青用量。
- b) 对石油沥青的 RAP 再生沥青混合料，采用真空法测定最大理论密度；对含有 SBS 改性沥青的 RAP，热再生沥青混合料宜采用燃烧炉法回收矿料，测定新旧矿料相关密度，计算得到最大理论密度。
- c) 马歇尔试件制备过程的温度按以下要求进行控制：
 - 1) 当 RAP 掺量大于等于 10%时，RAP 应进行预热，RAP 的预热温度、新料的加热温度、新沥青加热温度、再生混合料拌和与成型温度应按照表 6 的要求进行，并与实际施工温度相一致；

- 2) RAP 应进行烘箱预热，加热时间不超过 2h；
- 3) 新集料的加热温度与 RAP 掺量有关，可通过试拌试验明确新料的加热温度。
- d) 热再生混合料拌和顺序、拌和时间应符合 JTG F41 中相关规定，击实成型方法与热拌沥青混合料相同。

表6 马歇尔试件制备过程的温度控制

项目	不同 RAP 掺量的热拌沥青混合料		
	0~10%	10%~30%	30%~40%
RAP 预热温度 (°C)	/	115~125	120~130
新集料加热温度 (°C)	180~200	175~190	185~200
新沥青加热温度 (°C)	160~170		
再生沥青混合料拌和温度 (°C)	165~185		
试件击实成型温度 (°C)	155~185		

7.2.10 目标配合比设计检验

按照以下方法进行目标配合比设计验证：

- a) 对用于各等级公路的公称最大粒径小于或等于 19mm 的热拌再生沥青混合料，需在配合比设计的基础上，按照 JTG F40 中新拌沥青混合料中相关规定进行目标配合比设计验证，其中热再生沥青混合料的矿料间隙率 VMA 比新拌沥青混合料 VMA 减少 0.5%；
- b) 热再生沥青混合料除了进行车辙试验验证混合料的高温稳定性外，还需进行水稳定性和低温抗裂性能检验。

7.3 生产配合比设计

7.3.1 应分别对各档规格冷料输送带不同转速、下料口不同开口程度的流量进行测定，将目标配合比选定的冷料级配比例，转换为冷料输送带进料速度、下料口开口程度的参数，供拌和楼操作使用。

7.3.2 将新集料、RAP 加热到所需的温度，新集料通过振动筛分后，从各热料仓取料进行毛体积密度、表观密度及筛分试验。

7.3.3 确定热料仓各档新集料和矿粉的用量。应对二次筛分后进入各热料仓的集料取样进行筛分，并根据加热前 RAP 冷料仓取样的室内抽提筛分结果，确定 RAP 的级配组成。根据筛分结果，通过计算确定各热料仓的供料比例，使复合集料的级配接近目标配合比的级配（波动范围按规范规定的施工允许波动范围控制），供拌和楼控制室使用。

7.3.4 确定最佳油石比。取目标配合比设计的最佳新沥青油石比 OAC 和 $OAC \pm 0.3\%$ ，以及生产配合比级配的矿质混合料，用试验室的小型拌和机拌制沥青混合料进行马歇尔试验，综合确定生产配合比的最佳沥青用量，由此确定的最佳沥青用量与目标配合比设计的结果不宜相差 $\pm 0.2\%$ 。

7.4 生产配合比验证

7.4.1 按生产配合比确定的设计结果进行试拌和试铺，进行级配、沥青用量和马歇尔指标等检验。同时从路上钻取芯样测定压实度和空隙率，确定生产用标准配合比，并应进行水稳定性能的检验。

7.4.2 通过试验路段总结，得到各档料进料速度、新集料和 RAP 的加热温度、拌和时间、再生混合料级配、油石比、热再生沥青混合料的松铺系数、运输保障、合理的机械组合、摊铺及碾压工艺等。

7.5 配合比设计报告

7.5.1 目标配合比报告应包括：RAP 试验结果、RAP 等级、RAP 矿料级配、RAP 掺量、混合沥青的试验结果、级配范围选择说明、材料品种选择与新材料试验结果、矿料级配、最佳新沥青用量，以及各项体积指标、配合比设计检验结果等。

7.5.2 生产配合比设计报告由必要的文字说明、目标配合比设计成果、生产配合比设计成果、生产配合比验证、试拌试铺检验结果和试验资料附件组成，单独成册。

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 应根据实际项目的需要和设计要求，选用制造工艺成熟、性能稳定的厂拌热再生设备。

8.1.2 厂拌热再生沥青混合料的道路现场施工设备与同级配类型的全新沥青混合料相同，应与拌和厂生产能力相匹配，并满足施工进度要求。

8.1.3 所需原材料应充足，且满足 JTG F40 和本标准的相关要求，施工前应进行专项检测，合格后方可使用，不应使用不合格的原材料。

8.2 施工准备

8.2.1 施工组织设计

根据厂拌热再生技术的特点，结合工程现场的实际情况，编制施工组织设计，并应包括以下内容：

- RAP 及其他原材料的储备计划、料源地点、采备方式、运输形式和堆放场地；
- 根据 RAP 掺量和生产配合比设计，合理安排 RAP 的破碎和筛分生产计划，保证 RAP 的质量稳定和及时供应；
- 制定试验路段及各结构层的施工计划、机械设备的配备和人员的安排计划、采用的工艺和工序的衔接要求、特殊气候条件（雨季、高温、低温）下的施工对策，以及自检和质保体系、安全、环保措施等。

8.2.2 原材料

厂拌热再生沥青混合料所用原材料应满足以下要求：

- 对原材料进行检测，同时要完成 RAP 有关性能的检测，确保所提供的原材料质量，不合格材料不得进入料场；
- RAP 的回收，应按照本规范 6.3.1 规定执行；
- RAP 的预处理与堆放，应按照本规范 6.3.4 规定执行；
- 热再生沥青混合料用 RAP 应按照本规范表 C.1 规定进行分档，新集料依据其用途，在实际生产中按照表 7 进行分档。

表7 新集料分档

结构层	表面层	中面层	下面层	基层
新集料	0~2.36mm、2.36mm~ 4.75mm、4.75mm~9.5mm、 9.5mm~16mm	0~2.36mm、2.36mm~ 4.75mm、4.75mm~ 13.2mm、 13.2mm~26.5mm	0~2.36mm、2.36mm~ 4.75mm、4.75mm~ 13.2mm、13.2mm~ 26.5mm、26.5mm~31.5mm	0~2.36mm、2.36mm~ 4.75mm、4.75mm~ 13.2mm、13.2mm~ 26.5mm、26.5mm~37.5mm

8.2.3 拌和场地

厂拌热再生沥青混合料拌和场地应满足以下要求：

- a) 拌和场要选在空旷、干燥、交通便利，并远离工厂、居民区、经济农作物及畜牧业集中的区域，避免对当地居民的生产、生活和居住环境带来不利影响。
- b) 拌和场地的面积要根据项目工程量、拌和设备的型号、施工工期、材料供应速度经过计算确定，拌和场占地面积应满足施工需要，宜不小于 12000 m^2 （特殊路段地理条件受限时可分成几个拌和场），并将生活区及工作区分开。
- c) 拌和场地要有良好排水、防水措施。分隔仓内应纵向每隔 $5\text{m}\sim 10\text{m}$ ，横向每隔 $15\text{m}\sim 20\text{m}$ 设盲沟，坡度不小于 0.5% ，盲沟应与场地排水明沟相连，在堆料仓前后应设置排水明沟，保持排水通畅，场地内不允许积水。
- d) 面层堆料场地和场区道路采用水稳结合料加水泥混凝土（厚度不小于 8cm ）或沥青混凝土（厚度不小于 6cm ）进行硬化。杜绝产生弹簧、翻浆现象。要求设专人每天对拌和场、场区道路等及时进行洒水清扫，减少灰尘对集料的二次污染。
- e) 不同规格砂石材料要严格分档、隔离堆放，严禁混堆。各档材料间应设置高于 2m 的硬分隔墙， 2m 以上部分可采用软隔离；分隔墙顶面高度应高于料堆坡脚至少 50cm 以上，料堆形状为梯形。砂石材料堆放时应防止离析。
- f) 面层 4.75mm 及以下集料应设防雨棚，防雨棚仓储面积应大于 2000 m^2 并满足实际施工需要；面层 4.75mm 以上集料宜覆盖防雨油布。
- g) 厂拌热再生沥青混合料拌和作业前，再生加热滚筒、新料烘干滚筒、热料提升斗、搅拌器及各种称量斗内等不得有存料。

8.2.4 施工设备

施工单位应配备齐全的施工机械和配件，应对拌和楼、摊铺机、压路机等各种施工机械和设备进行调试，对机械设备的配套情况、技术性能、传感器计量精度等进行认真检查、标定。做好开工前的保养，并尽量避免在施工期间发生有碍施工进度和质量故障，并应配备以下主要施工机械：

- a) 间歇式沥青混合料拌和楼（ 2000 型及以上），另配有 40t 以上的热贮料仓。全部生产过程由计算机自动控制，并有自动检测和打印储存装置。拌和楼应配备由 RAP 供给系统、再生烘干滚筒、热回收料储存仓、热回收料称量斗、再生剂供给系统、控制系统等组成的热再生设备以及良好的除尘和烟气处理系统。
- b) RAP 破碎筛分系统。
- c) 沥青混合料摊铺机，表面层、中面层施工时，应配备非接触式平衡梁。
- d) 25t 以上轮胎压路机， $8\text{t}\sim 13.5\text{t}$ 双钢轮压路机，另配小手扶振动压路机。
- e) 载重量 15t 以上的自卸汽车。

8.2.5 下承层

热再生沥青混合料摊铺前应先检查下承层（基层或下卧沥青层）的质量，在满足设计要求的前提下，还应符合以下要求：

- a) 检查下封层的完整性与基层表面的粘结性，对局部基层外露应按封层施工要求进行修补；对下封层表面浮动矿料、杂物和灰尘等清理干净，并再次对基层反射裂缝情况进行仔细检查，如发现反射裂缝，应进行相应的处理，处理完毕后方可进行再生层施工。

- b) 在摊铺前 1 天~2 天, 应对基层表面状况进行一次检查, 如发现坑洞、脱皮等损坏现象, 应加以修补。

8.3 试验路段

8.3.1 在正式铺筑厂拌热再生沥青混合料之前, 应先铺筑试验路段, 并拟定试验路段铺筑方案。试验路段应当位于施工路段之内, 试验段的长度应根据试验目的确定, 宜选在正线上铺筑 200m~400m。

8.3.2 厂拌热再生沥青混合料路面试验段铺筑分试拌及试铺两个部分, 除应包括 JTG F40 的相关试验内容外, 还应包括以下内容:

- 拌和楼按生产配合比结果进行试拌, 重点检测各档料进料速度、拌和时间、新集料和 RAP 的加热温度、再生混合料的出厂温度等。
- 再生剂(需要时)添加方式和计量检验方式。
- 对试拌的再生混合料进行取样, 并通过抽提法确定再生混合料的级配、油石比, 同时成型马歇尔试件, 测定空隙率、稳定度、流值、浸水马歇尔试验残留稳定度。
- 通过试铺, 确定热再生沥青混合料的摊铺温度、摊铺速度、振捣夯实的方法和强度、自动找平、松铺系数等。
- 通过试压获得所要求压实度, 并制定适宜的压实工艺, 明确具体的压实时间、压实顺序、压实温度、压实速度、静压与振压最佳遍数、压路机类型组合、压路机型号与吨位、压路机振幅、频率与压实速度等。
- 对铺筑好的试验段, 应按照不同的试验分段, 随机从路上钻取芯样, 并测定厚度、压实度和空隙率等。
- 通过试验路的铺筑, 确定施工产量及作业段的长度, 修订施工组织计划。全面检查材料及施工质量是否符合要求。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。

8.4 混合料拌和

8.4.1 间歇式厂拌热再生拌和设备应符合 GB/T 25641 和 JTG F40 的相关规定, 还应符合以下要求:

- 拌和所用的 RAP 应配合再生沥青混合料生产的需要量, 现破碎现用, 避免堆放过久;
- 当 RAP 掺量低于 10%时, RAP 应直接投料与新集料进行拌和;
- 当 RAP 掺量超过 10%时, 应使用再生加热滚筒对 RAP 单独烘干加热, 然后再与新集料进行拌和;
- 使用 RAP 再生加热滚筒的厂拌热再生沥青混合料拌和设备应符合附录 D 的规定。

8.4.2 当不添加再生剂时, 应先将 RAP 与新集料与干拌 10s~20s, 之后再喷入计量的沥青进行拌和, 总拌和时间宜比普通热拌沥青混合料延长 15s 左右。

8.4.3 当添加再生剂时, 应先将再生剂与 RAP 一起干拌 10s~15s, 再将新集料与 RAP 干拌 10s~20s, 之后再喷入计量的沥青进行拌和, 总拌和时间宜比不添加再生剂的热再生沥青混合料延长 15s 左右。

8.4.4 严格控制沥青、新集料和 RAP 的加热温度以及热再生沥青混合料的出厂温度, 生产温度应按表 8 控制。每天开始生产应干拌 2~3 锅集料并废弃, 对拌料系统预热后, 再正式加沥青拌和混合料。热再生沥青混合料成品在贮料仓储存后, 其温度下降不应超过 10℃, 出料温度超过 190℃时应予以废弃。

表8 热再生沥青混合料温度控制

项目	不同RAP掺量的热拌沥青混合料		
	0~10%	10%~30%	30%~40%
RAP 预热温度(℃)	/	115~125	120~130

表8 热再生沥青混合料温度控制（续）

项目	不同RAP掺量的热拌沥青混合料		
	0~10%	10%~30%	30%~40%
新集料加热温度（℃）	180~200	175~190	185~200
新沥青加热温度（℃）	160~170		
再生剂加热温度（℃）	110~130		
拌和温度（℃）	165~185		
出料温度（℃）	155~175		
运输到现场温度（℃）	≥150		
摊铺温度（℃）	≥145		
压实温度 （表面）（℃）	开始	≥135	
	終了	≥90	
开放交通温度（℃）	≤50		

8.4.5 厂拌热再生沥青混合料拌和设备计量准确度及系统误差应满足表9要求。

表9 计量准确度和配料系统允许误差

项目	允许误差	
温度计量准确度（℃）	滚筒温度计量	±3.0
	RAP 热料缓冲储料仓温度计量	±3.0
	除尘器温度计量	±3.0
材料静态计量准确度（%）	RAP 热料静态计量	±0.5
	新集料静态计量	±0.5
	再生剂静态计量	±0.25
	新沥青静态计量	±0.25
材料动态配料计量准确度（%）	RAP 热料动态配料计量	±2.5
	新集料动态配料计量	±2.5
	再生剂动态配料计量	±2.0
	新沥青动态配料计量	±2.0

8.4.6 拌和过程中应注意检查混合料的均匀性，及时分析混合料有无花白、冒青烟和离析等异常现象。如确认是质量问题，应作废料处理并及时予以纠正。

8.4.7 厂拌热再生沥青混合料拌和的其它要求，应符合 JTG F40 的相关规定。

8.5 运输

8.5.1 装车时运料车应前后移动进行分层装料，移动次数尽可能多，并至少移动三次，以减少粗集料的分离现象。

8.5.2 运输到现场的温度应符合本规范表8的规定。采用数字显示插入式热电偶温度计检测沥青混合料的出厂温度和运到现场温度。插入深度要大于150mm。在运料车侧面中部设专用检测孔，孔口距车箱底面约300mm。

8.5.3 运料车应有良好的篷布覆盖设施，卸料过程中继续覆盖直到卸料结束取走篷布，以便保温或避免污染环境。

8.5.4 厂拌热再生沥青混合料运输的其它要求，应符合 JTG F40 的相关规定。

8.6 摊铺

8.6.1 宜采用单幅全宽机械化连续摊铺作业，对于单幅双车道面层，应实施两台摊铺机梯队作业，两台间隔距离不应超过 15m，以确保铺面的质量。

8.6.2 连续摊铺过程中，运料车在摊铺机前 10cm~30cm 处停住，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。

8.6.3 厂拌热再生沥青混合料的摊铺温度应符合本规范表 8 的规定。

8.6.4 当环境温度低于 15℃时，禁止摊铺热再生沥青混合料。

8.6.5 厂拌热再生沥青混合料摊铺的其他要求，应符合 JTG F40 的相关规定。

8.7 压实

8.7.1 开始压实的混合料表面温度不宜低于在 135℃，初压终了的表面温度不宜低于 120℃，复压终了和终压终了的表面温度应符合本规范表 8 的规定。

8.7.2 厂拌热再生沥青混合料压实的其他要求，应符合 JTG F40 的相关规定。

8.8 养生和开放交通

厂拌热再生沥青路面的养生和开放交通，应符合 JTG F40 的相关规定。

8.9 环保要求

8.9.1 再生加热滚筒内的 RAP 不应与明火直接接触，加热、搅拌和卸料过程中产生的有害气体及粉尘，应进行净化处理。

8.9.2 厂拌热再生沥青混合料拌和场地等施工地点要监测有害气体，并符合 GB 16297 的排放标准。

8.9.3 拌和站向周围环境排放噪声应当符合 GB 12523 的排放标准，拌和站的噪声限值为昼间 70dB(A)，夜间 55dB(A)。

8.10 施工过程质量检验

8.10.1 厂拌热再生沥青路面施工应根据全面质量管理的要求，建立健全质量保证体系，对施工各工序的质量进行检验评定，达到规定的质量标准，确保施工质量的稳定性。

8.10.2 正式开工前，应将各种原材料的检测结果、目标配合比和生产配合比设计结果，向业主及监理提交正式报告，批准后方可开工。

8.10.3 厂拌热再生沥青路面的施工质量检验，应符合 JTG F40 对沥青路面的有关规定。

8.10.4 针对厂拌热再生沥青混合料的具体特点，质量检验更应加强生产和施工的温度检验、再生混合料的水稳性检验、再生混合料的低温性能检验，以及再生沥青混合料的压实度和空隙率的检验。

8.10.5 RAP 实测项目见表 10，RAP 沥青含量、RAP 中沥青、RAP 中粗集料和细集料技术指标、矿料级配等允许偏差均是热再生沥青混合料目标配合比时采用的 RAP 技术指标相比较的允许偏差；“必要时”是指施工各方任何一个部门对其质量发生怀疑，提出需要检查时，或是根据需要商定的检查频度。

表10 RAP 的实测项目

检验项目		检验频率		质量要求或允许偏差		试验方法
		高速公路、一级公路	其他等级公路	高速公路、一级公路	其他等级公路	
RAP	含水量	每日1次	每2日1次	≤3.0%	≤3.0%	附录A
	含泥量	每日1次	每2日1次	≤2.0%	≤2.5%	
	RAP级配	每日1次	每2日1次	实测	实测	
	沥青含量	每日1次	每2日1次	±0.4%	±0.5%	
	砂当量(%)	开始前或必要时	开始前或必要时	实测	实测	
沥青	25℃针入度	1次/3000t	1次/5000t	±5	±7	
	60℃粘度	1次/3000t	1次/5000t	±10	±15	
	软化点TR&B(℃)	开始前或必要时	开始前或必要时	实测	实测	
	延度(cm)15℃	开始前或必要时	开始前或必要时	实测	实测	
粗集料	压碎值	1次/3000t	1次/5000t	±3	±5	
	针片状颗粒含量	1次/3000t	1次/5000t时	±8%	±10%	
细集料	棱角性	1次/3000t	1次/5000t	±8%	±10%	
矿料级配	≤0.075mm通过率	每日1次	每2日1次	±2	±3	
	0.075mm以上筛孔通过百分率	每日1次	每2日1次	±6	±8	

8.10.6 厂拌热再生沥青混合料的实测项目见表11, 矿料级配、油石比、空隙率和VMA技术指标允许偏差均是热再生沥青混合料生产配合比技术指标相比较的允许偏差。

表11 厂拌热再生沥青混合料实测项目

检验项目		检查频度及单点检验评价方法 ^a	质量要求或允许偏差		试验方法
			高速公路、一级公路	其他等级公路	
外观		随时	观察集料粗细、均匀性、离析、油石比、色泽、冒烟、有无花白料、油团等各种现象		目测
拌和温度	RAP、新沥青、新集料的加热温度	逐盘检测评定	符合本规范表8的规定		传感器自动检测、显示并打印
	混合料出厂温度	逐车检测评定	符合本规范表8的规定		传感器自动检测、显示并打印, 出厂时逐车按T 0981人工检测
		逐盘测量记录, 每天取平均值评定	符合本规范表8的规定		传感器自动检测、显示并打印
	混合料到施工现场温度	逐车检测评定	符合本规范表8的规定		自动检测与打印、存储

表11 厂拌热再生沥青混合料实测项目（续）

检验项目		检查频度及单点检验评价方法 ^a	质量要求或允许偏差		试验方法
			高速公路、一级公路	其他等级公路	
拌和温度	混合料温度波动	逐盘测量记录, 标准差评定	标准差小于4℃	标准差小于5℃	自动检测与打印、存储
矿料级配(筛孔)	0.075mm	逐盘在线检测	±3%	—	计算机采集数据计算
	≤2.36mm		±5%	—	
	≥4.75mm		±6%	—	
	0.075mm	逐盘检查, 每天汇总1次取平均值评定	±1%	—	JTG F40-2004 附录G 总量检验
	≤2.36mm		±2%	—	
	≥4.75mm		±2%	—	
	0.075mm	每台拌和机每天1~2次, 以2个试样的平均值评定	±2%	±2%	T 0725 抽提筛分与标准级配比较的差
≤2.36mm	±5%		±6%		
≥4.75mm	±6%		±7%		
沥青用量(油石比) ^b		逐盘在线监测	±0.3%	—	计算机采集数据计算
		逐盘检查, 每天汇总1次取平均值评定	±0.1%	—	JTG F40-2004 附录F 总量检验
		每台拌和机每天1~2次, 以2个试样的平均值评定	±0.3%	±0.4%	T0722、T0721
最大理论密度		每日1次	实测		T0711
实验室试件空隙率		每日1次	±1%	±1.5%	T0705
实验室试件 VMA		每日1次	±1%	±1.5%	T0705
马歇尔试验: 空隙率、稳定度、流值		每台拌和机每天1~2次, 以4~6个试件的平均值评定	符合本规范规定		T 0702、T 0709、JTG F40-2004 附录 B、附录 C
浸水马歇尔试验		必要时(试件数同马歇尔试验)	符合本规范规定		T0702、T0709
车辙试验		必要时(以3个试件的平均值评定)	符合本规范规定		T0719
低温弯曲实验		必要时	符合设计要求		T0715
热料仓筛分		每2日1次	实测		T0302
^a 单点检验是指试验结果以一组试验结果的报告值为一个测点的评价依据, 一组试验(如马歇尔试验、车辙试验)有多个试样时, 报告值的取用按《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》的规定执行。 ^b 对高速公路和一级公路, 矿料级配和油石比必须进行总量检验和抽提筛分的双重检验控制, 互相校核。油石比抽提试验应事先进行空白试验标定, 提高测试数据的准确度。					

8.10.7 厂拌热再生沥青路面铺筑过程中必须随时对铺筑质量进行评定, 并符合 JTG F40-2004 中 11.4.5 条的规定。

8.10.8 厂拌热再生沥青混凝土路面质量检验评定标准按照 JTG F80/1-2004 中 7.3 条执行。

附 录 A
(规范性附录)
原路面探坑调查与 RAP 取样分析

A.1 目的与使用范围

A.1.1 原路面探坑调查用于路面结构设计，并为原沥青路面铣刨方案提供依据。

A.1.2 通过随机取样的方法获得有代表性样品，用于确定RAP的级配、沥青含量以及质量分析，并用于再生沥青混合料目标配合比设计。

A.2 原沥青面层调查

A.2.1 根据本标准4.3节内容针对原路面路况进行路段划分。

A.2.2 探坑调查

探坑调查按照如下方式开展：

- a) 每个子路段取样探坑数不少于 1 个，采用铣刨机铣刨开挖。
- b) 探坑位置的选取按照 JTG E60 随机取样方法确定。
- c) 使用取芯机对探坑位置钻取 1 个芯样，确定原沥青混凝土面层各结构层的厚度和总厚度。
- d) 根据各结构层厚度和总厚度确定铣刨深度，当有后期加铺的沥青混凝土面层时，宜将后期加铺的新沥青混凝土面层和原沥青混凝土分开铣刨；当原沥青混凝土总厚度超过 20cm 时，应分 2 次铣刨，分次铣刨的深度宜在不同结构层分层的位置。
- e) 铣刨全部沥青混凝土面层后，应对下承层进行标准承载板测试，每个承载面测试 2~3 次，以平均值作为该承载面的回弹模量代表值。
- f) 通过对开挖探坑的调查，按照表 A.1 的要求完成探坑分析表。

表A.1 探坑分析表

探坑位置	产生的主要病害	铣刨次数	深度 (cm)	材料类型	结构状况	下承层回弹模量 (MPa)

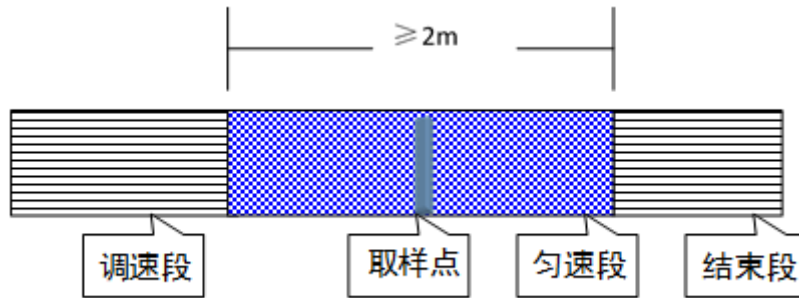
A.3 取样

A.3.1 现场取样方法

RAP现场取样应按照以下方法进行：

- a) 在进行探坑调查的同时对 RAP 进行取样，并按预定铣刨深度将路面结构层一次性破碎；对于需要分层铣刨的 RAP，按照厚度比例取样，每层 RAP 应分别进行检测。

- b) 取样不应选在铣刨调速段和结束段，应在预定深度匀速铣刨至少 2m 以上并在匀速范围内取料坑中间整个断面取料，并挖到材料底部，取样示图见图 A. 1。



图A.1 现场铣刨取样示意图

A.3.2 在料场取样时，应按照JTG E42粗集料料堆取样方法，并应先铲除表面15cm~25cm深度范围内及堆脚等无代表性的部分，然后在料堆的顶部、中部和底部均匀分布的3个不同部位，取得大致相等的若干份组成一组试样，使所取试样能代表整批料的情况和品质。

A.4 取样数量

A.4.1 探坑调查的同时提取足够的RAP进行室内试验检测和混合料配合比设计。

A.4.2 对单项试验，每组试样取样数量不宜少于表A.2所规定的最少取样量。

表A.2 各项试验项目所需集料的最小取样数量

试验项目	相对于下列公称最大粒径 (mm) 的最小取样量 (Kg)								
	4.75	9.5	13.2	16	19	26.5	31.5	37.5	53
筛分	8	10	12.5	15	20	20	30	40	50
含水率	2	2	2	2	2	2	3	3	4
表观密度	6	8	8	8	8	8	12	16	20
针片状颗粒含量	0.6	1.2	2.5	4	8	8	20	40	—
含泥量	8	8	8	8	24	24	40	40	60

A.4.3 同时做多项试验时，如能保证试样前一项试验后不影响后一项试验的结果，可用同一组取样完成多项试验。

A.4.4 其他集料试验项目按照JTG E42有关要求进行。

A.4.5 用于目标配合比设计时，RAP的取样量宜在70kg~100kg。

A.5 试验的缩分

A.5.1 分料器法：将试样均匀拌和后，通过分料器分为大致相等的两份，取其中一份分成两份，缩分至需的数量为止。

A.5.2 四分法：将所取试样置于平板上，在自然状态下拌和均匀、摊平，然后沿互相垂直的方向，将试样分成均等的四份，取对角的两份重新拌匀。重复上述过程，直至缩分后的试样数量符合各项试验规定数量的要求。

A.6 RAP评价

A.6.1 含水量

根据烘干前后回收RAP质量的变化，按照式(A.1)计算RAP的含水率 ω 。试验方法按照JTG E42-2005 T0305，烘箱加热温度调整为60℃恒温。

$$\omega = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100\% \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

ω —RAP的含水率；

m_w —回收的旧沥青混合料质量（g）；

m_d —回收的旧沥青混合料烘干至恒重的质量（g）。

A.6.2 级配

对RAP进行筛分试验，确定RAP的级配。试验方法按照JTG E42-2005 T0302，材料加热温度调整为60℃恒温，采用干筛法。

A.6.3 沥青含量和性质

- a) 按照改进的阿布森法（JTG E20-2011 T0726）或旋转蒸发器法（JTG E20-2011 T0727）从RAP中回收沥青。如采用其他方法，需进行重复性和复现性试验，并进行空白沥青标定。重复性试验的允许误差为：针入度 ≤ 5 （0.1mm）、黏度 \leq 平均值的10%、软化点 ≤ 2.5 ℃，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 ≤ 5.0 ℃，如超出允许误差范围，则应弃置回收沥青，重新标定、回收。
- b) 按照 JTG E20-2011 T0726 或 T0727 的方法检测沥青含量，并对回收沥青按照 JTG E20-2011 T0604 方法检测 25℃针入度，按照 JTG E20-2011 T0621 的方法检测 60℃黏度，按照 JTG E20-2011 T0606 的方法检测软化点和按照 JTG E20-2011 T0605 的方法检测 15℃延度。
- c) 具有下列情形之一的，应进行空白沥青标定：更换旋转蒸发器或阿布森沥青回收设备时；更换三氯乙烯品种或供应商时；回收沥青性能异常时；沥青混合料来源发生变化时。
- d) 重复性试验是指采用相同的方法，同一试验材料，在相同的条件下获得的一系列结果之间的一致程度。复现性试验是指在两个以上不同的试验室，由各自的试验人员，采用各自的仪器设备，按相同的试验方法，对同一试样，分别完成试验操作，所得的试验结果之间的误差。重复性试验的允许误差为：针入度 ≤ 5 （0.1mm）、黏度 \leq 平均值的10%、软化点 ≤ 2.5 ℃，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 ≤ 5.0 ℃，如超出允许误差范围，则应弃置回收沥青，重新标定、回收。

A.6.4 RAP砂当量

用4.75mm 筛筛除回收沥青路面材料（RAP）中的粗颗粒，进行砂当量指标检测。试验方法参照JTG E42-2005 T0334。

A. 6.5 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 RAP 中的矿料级配。RAP 的沥青含量与级配也可采用燃烧法确定，若在燃烧过程中，集料由于高温导致破碎，则不宜采用该法。
- b) RAP 中集料性质，按照 JTG E42 进行检测。

附 录 B
(规范性附录)
原沥青路面 RAP 回收铣刨机铣刨速度试验

B.1 目的与适用范围

B.1.1 测定原沥青路面在一定的环境温度下，采用铣刨机回收RAP的合理速度范围，从而保证RAP级配的均匀性。

B.1.2 当铣刨机的功率和铣刨宽度变化或环境气温变化超过5℃时，应重新进行试验。

B.2 准备工作

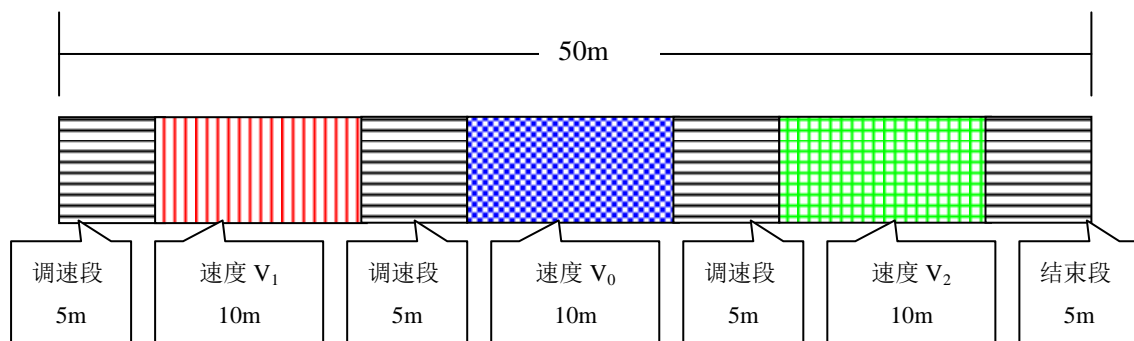
铣刨试验前应包括以下准备工作：

- a) 试验段应选择在施工段落内的行车道或超车道位置，铣刨路面表面应均匀一致，并落实交通封闭措施；
- b) 测试试验环境温度；
- c) 铣刨试验前，应对铣刨路段表面进行彻底清洗；
- d) 铣刨试验应使用大规模铣刨施工的同一型号的铣刨机（相同功率和铣刨宽度）；
- e) 应采用能对层厚自动控制的铣刨机回收，铣刨层厚误差在±5mm；
- f) 铣刨机铣刨刀头完整，不得缺失；铣刨过程中随时观察 RAP 和铣刨面的外观，发现异常时应及时调整铣刨方案。

B.3 铣刨试验

铣刨试验按下述要求操作：

- a) 铣刨机工作速度范围一般控制在 3 m/min~10m/min。根据铣刨深度和铣刨机功率型号等，结合该机型的铣刨速度经验，确定基准速度 V_0 。
- b) 根据基准速度 V_0 ，分别上下调节铣刨速度（±2m/min），确定铣刨速度 V_1 和 V_2 。
- c) 具体铣刨组合方式如下图 B.1 所示。



图B.1 铣刨速度组合试验方案

- d) 为了获取具有代表性的 RAP 料，所有 RAP 料的取样都不应在调速段和结束段进行。所有正常路段的铣刨料均需运至后场，并分开堆放，做好标识，以便取样。

B.4 RAP试验方案

RAP试验方案包括：

- a) 应对 3 种不同铣刨速度获得的不同铣刨料进行筛分试验，每种不同的 RAP 料筛分至少做四组平行试验，随机选择取样位置。有条件的情况下，建议对抽提后的级配也进行相应的筛分工作。
- b) 根据不同铣刨速度 RAP 材料的筛分结果，确定针对不同段落的合适铣刨速度。

附录 C (规范性附录)

RAP 掺量和热再生沥青混合料的适用范围

C.1 使用范围

工程所在地具有成熟的RAP掺配和热再生混合料的使用层位经验，应按照成熟经验执行，无成熟经验按照本附录执行。

C.2 不同等级RAP掺量

根据本规范6.3.3给出的RAP分级标准，不同等级的RAP最大掺量范围如下：

- a) 一等 RAP 的最大掺量为 40%；
- b) 二等 RAP 的最大掺量为 30%；
- c) 三等 RAP 的最大掺量为 20%；
- d) 四等 RAP 应进行必要的处理，符合要求后方可使用，否则不应用于厂拌热再生。

C.3 RAP分档

按照表C.1的规定，对经过预处理的RAP进行分档。

表C.1 RAP 分档

结构层位	表面层	中面层	下面层	基层
RAP	0~4.75mm、4.75mm~ 16mm	0~9.5mm、9.5mm~ 26.5mm	0~9.5mm、9.5mm~ 31.5mm	0~9.5mm、9.5mm~ 31.5mm

C.4 使用层位

厂拌热再生沥青混合料RAP掺量范围的选择应综合考虑热再生混凝土的路用性能以及公路所在的气候分区，并应符合JTG F40对热拌混合料的相关规定。不同级配类型的厂拌热再生沥青混合料RAP掺量范围、适宜的路面结构层及适用的公路等级可按照表C.2。

表C.2 厂拌热再生沥青混合料建议适用范围

沥青混合料级配类型	RAP 掺量 (%)	适宜的路面层位	适用公路等级
AC-13	10~20	表面层	二级公路
	20~40	表面层	二级以下公路

表 C.2 厂拌热再生沥青混合料建议适用范围 (续)

沥青混合料级配类型	RAP 掺量 (%)	适宜的路面层位	适用公路等级
AC-16	10~20	表面层、中面层	二级公路
	20~30	表面层、下面层	二级以下公路
	15~30	中面层	高速, 一级公路
	20~40	下面层	二级公路
AC-20	15~30	中面层	高速, 一级公路
	20~40	中面层、下面层	二级公路
	20~40	下面层	高速, 一级公路
AC-25	20~35	下面层	高速, 一级公路
	25~40	基层	高速, 一级公路
	20~40	下面层	二级公路
	30~40	基层	二级公路
	20~40	下面层	二级以下公路
ATB	20~40	基层	高速, 一级公路
	30~40	基层	二级公路
	30~40	下面层	二级以下公路

附 录 D
(规范性附录)
厂拌热再生沥青混合料拌和设备的要求

D.1 目的与使用范围

当RAP掺量超过10%时，使用再生加热滚筒的厂拌热再生沥青混合料拌和设备应符合本附录的规定。

D.2 拌和设备的要求

D.2.1 设备应配备RAP配料装置和计量装置。

D.2.2 应同时配备不少于2个RAP冷料仓。

D.2.3 应同时配备独立的RAP热料缓冲储料仓。储料仓顶部应安装测温装置和料位传感器，外壁应设置保温层，防止热料热量散失，温度下降。缓冲仓下部应设有加热装置，以防止热回收料存储仓底部粘结热回收料，阻碍热料放出。

D.2.4 RAP热料计量装置的计量斗外部应增加保温层，防止热料热量散失，温度下降，粘附在计量斗内壁，影响计量准确度。

D.2.5 RAP供给系统的供料能力、燃烧器的供热能力、再生加热滚筒的生产能力应满足设备最大生产能力的要求。

D.2.6 燃烧器的设计应确保RAP不与火焰直接接触。当采用火焰直接加热RAP的加热系统时，应有防止火焰与回收料直接接触的装置，防止由于高温使RAP中的沥青老化。

D.2.7 筒内应设置避免RAP粘附滚筒内壁的专门装置，再生加热滚筒出料口应安装测温装置。

D.2.8 为了控制再生加热滚筒产生的烟气，特别是旧沥青受热产生的蓝烟对环境的污染，以及防止布袋除尘器中布袋上凝结沥青蒸馏出来的轻质油份，缩短布袋的使用寿命，从再生加热滚筒排出的烟气应经过新集料烘干滚筒燃烧后再进入除尘系统，除尘系统排出的气体应符合环保要求。

附录 E (资料性附录)

厂拌热再生沥青混合料在浙江省某省道的应用

E.1 工程概况

某省道是浙江地区杭嘉湖平原的重要干线公路，设计时速80km/h，二级公路标准，为沥青混凝土路面。工程自1998年建成通车以来，为杭嘉湖平原的交通和社会经济发展发挥了重要的作用。随着经济的快速发展，道路交通流量的不断增加，使得道路负荷不断增加。目前路面病害较多，主要表现不同类型的各类裂缝、车辙，局部也存在的沉陷、坑槽等。

为改善公路通行状况，2015年当地公路管理部门对K90+161~K95+514段进行中修，并铺筑了厂拌热再生沥青混凝土路面。

E.2 原路面调查与分析

E.2.1 原路面历史信息调查与分析

本次设计路段为沥青混凝土路面于1998年建成通车，原路面结构采用3cmAC-13C沥青混凝土+5cm AC-20C沥青混凝土+25cm水泥稳定碎石基层+8cm级配碎石底基层+25cm宕渣填料+25cm石灰土。经过现场调查及资料显示，该路段右幅路面自1998年建成以后，进行了两次大规模的养护和改造。

2007年原行车道范围进行中修罩面，行车道8m范围加铺的路面结构为5cmAC-16 I型中粒式沥青混凝土+10cm泡沫沥青再生层，紧急停车带加铺的路面结构为5cmAC-16 I型中粒式沥青混凝土，工程于2008年初完成施工。

2009年原行车道范围进行了拓宽整治工程，路幅由原来的36m拓宽至现有45m，原右幅改建前行车道范围加铺5cmAC-13C型细粒式沥青混凝土；改建后行车道拓宽范围，挖除拓宽前辅道路面结构，换填60cm宕渣后，加铺5cmAC-13C型细粒式沥青混凝土+7cmAC-20C型中粒式沥青混凝土+32cm水泥稳定碎石基层+20cm水泥稳定碎石底基层；拓宽后辅道范围，换填60cm宕渣后，加铺5cmAC-13C型细粒式沥青混凝土+7cmAC-20C型中粒式沥青混凝土+32cm水泥稳定碎石基层，工程于2010年完成施工。

E.2.2 原路面状况调查与评价

E.2.2.1 原路面沥青混凝土层厚度调查

为确定旧路面沥青混凝土层厚度，对该路段路面结构层情况进行了钻芯调查，具体芯样厚度详见下表E.1。

表E.1 沥青混凝土面层取芯厚度

桩号	厚度 (cm)	桩号	厚度 (cm)
K90+200	16.2	K92+950	17.6
K90+500	19.5	K93+300	16.8
K90+850	18.5	K93+600	18.2
K91+260	16.8	K93+930	17.7

表 E.1 沥青混凝土面层取芯厚度 (续)

桩号	厚度 (cm)	桩号	厚度 (cm)
K91+530	19.6	K94+200	18.1
K91+800	16.3	K94+500	16.5
K92+100	10.8	K94+800	16.1
K92+450	18.5	K95+100	18.0
K92+700	8.2	K95+400	11.8

E.2.2.2 路面损坏状况

采用路面损坏状况指数PCI对该路段破损情况进行评价,具体结果如表E.2所示。

表E.2 路面损坏状况

桩号	长度 (km)	损坏指数	评价等级 (PCI)
K90+161~K91+000	0.839	31.4 (70.5)	差 (中)
K91+000~K92+000	1.000	20.3 (70.3)	差 (中)
K92+000~K93+000	1.000	20.1 (71.6)	差 (中)
K93+000~K94+000	1.000	21.9 (71.6)	差 (中)
K94+000~K95+514	1.514	19.7 (72.0)	差 (中)

注: 括号外为对应第1、2 行车道数据, 括号内为紧急停车带数据。

E.2.2.3 路面行驶质量

采用路面行驶质量指数(RQI)对该路段平整度情况进行评价,具体结果如表E.3所示。

表E.3 路面行驶质量指数评价

桩号	长度 (km)	路面行驶质量指数 RQI	评定等级
K90+161~K91+000	0.839	89.2	差
K91+000~K92+000	1.000	91.1	中
K92+000~K93+000	1.000	91.6	中
K93+000~K94+000	1.000	90.8	中
K94+000~K95+514	1.514	88.6	差

E.2.2.4 路面结构强度

采用路面结构强度指数 (PSSI) 对该路段承载能力情况进行评价,具体结果如表E.4所示。

表E.4 路面结构强度指数评价

桩号	长度 (km)	代表弯沉值 (0.01mm)	强度指数 (PSSI)	评价等级
K90+161~K91+000	0.839	40.6	96.7	中
K91+000~K92+000	1.000	55.4	85.1	差
K92+000~K93+000	1.000	37.8	97.9	中
K93+000~K94+000	1.000	36.7	98.3	中
K94+000~K95+514	1.514	31.5	99.4	中

E. 2. 2. 5 路面使用性能

采用路面使用性能指数（PQI）对该路段使用性能情况进行评价，具体结果如表E. 5所示。

表E. 5 路面使用性能指数评价

桩号	长度 (km)	使用性能指数 (PQI)	评价等级 (PCI)
K90+161~K91+000	0.839	54.52 (77.98)	差 (中)
K91+000~K92+000	1.000	48.62 (78.62)	差 (中)
K92+000~K93+000	1.000	48.70 (79.60)	差 (中)
K93+000~K94+000	1.000	49.46 (79.28)	差 (中)
K94+000~K95+514	1.514	47.26 (78.64)	差 (中)

注：括号外为对应第1、2 行车道数据，括号内为紧急停车带数据。

E. 2. 2. 6 探坑调查

对原路面开挖探坑，完成探坑分析表如表E. 6所示。

表E. 6 探坑分析表

探坑位置	产生的主要病害	铣刨次数	深度 (cm)	材料类型	结构状况	下承层回弹模量 (MPa)
K90+500 第一车道	车辙、坑槽、龟裂	1	16.5	沥青混凝土	基本完整	320
K91+260 第二车道	车辙、横向裂缝	1	16.8	沥青混凝土	基本完整	370
K92+450 第三车道	车辙、横向裂缝	1	18.5	沥青混凝土	基本完整	420
K93+600 第三车道	车辙	1	18.2	沥青混凝土	基本完整	460
K94+500 第三车道	车辙	1	16.5	沥青混凝土	基本完整	430

E. 2. 2. 7 病害成因分析

该路段沥青路面病害主要以车辙、纵横向裂缝和不规则裂缝为主，同时龟裂、坑槽等病害也同时存在，经分析病害产生的主要原因归纳如下：

- 车辙。沥青路面引起车辙的原因主要有：沥青路面面层强度不足，不均匀；沥青路面面层热稳定性差；沥青路面面层上面层级配偏细；超载超限车辆集中段落；个别路段汽车制动频繁（如平交口）。
- 荷载型裂缝。交通量大、超载严重是路面产生荷载型裂缝的直接原因，同时由于原基层厚度偏薄及施工质量欠佳，强度偏低也是产生裂缝的重要原因。
- 龟裂、沉陷。由于轻微裂缝等病害未得到有效处理，裂缝的出现为雨水进入路面结构层提供了通道，加上行车荷载直接作用在裂缝上，使得滞留在层内的自由水产生很大的动水压力，冲刷基层表面的细料，从而形成唧泥迹象。随着唧泥病害的发展，缝隙周围基层的细料被逐渐淘空，便导致了龟裂及沉陷病害。
- 坑槽。由于龟裂、沉陷等病害的产生，使得路面排水不畅并积水，沥青混合料较长时间浸泡在水中，并在行车荷载的反复作用下，导致沥青与集料剥落、分离，并被车轮逐渐带走，从而使路面出现坑槽。

E. 2. 3 交通量调查

对该路段2008-2014年交通量观测资料进行调查分析，具体结果如表E.7所示。

表E.7 交通量调查结果

年份	汽车 (AADT)							
	标准小客车数	汽车自然数	小型货车	中型货车	大、特大型、拖挂货车	集装箱车	中、小型客车	大型客车
2009	12667	10128	1764	814	974	210	6020	346
2010	16511	12502	1937	1188	1342	558	7047	430
2011	22664	14273	1283	1578	1758	981	8201	472
2012	22735	12578	995	1501	1944	1344	6264	548
2013	24597	13031	1081	1670	2445	1235	5737	863
2014	24321	12054	1348	898	3068	1056	5059	625

注1：交通量数据为该省道沿线4个交通量观察站的加权平均值。
注2：单位为年平均日交通量（辆/日）。

E.3 厂拌热再生沥青路面结构层设计

E.3.1 原路面沥青混凝土回收利用可行性分析

根据前期路面调查与分析，认为准备中修的路段在运营期间换填和局部修补的面积较少，占整个准备维修路面面积的3%左右，说明该路段的沥青混凝土相对均匀，通过回收利用不会对再生混合料产生明显变异。通过每300m的结构层及厚度调查，可划分若干子路段，并进行分层铣刨。综上分析，对原路面沥青混凝土进行回收利用是可行的。

E.3.2 面层选用

根据公路的功能、使用要求及所处浙北地区的气候、水文、土质等自然条件，结合当地公路路面施工经验和材料供应情况，本着路面设计在使用年限内满足本路段交通承载力、耐久性、舒适性和安全性的要求，进行路面综合设计，结合本项目车辙病害较严重的情况和地区高温天气条件的变化趋势，表面层均采用SBS改性沥青混凝土，中面层采用新拌沥青混凝土（添加抗车辙剂）或厂拌热再生沥青混凝土，下面层采用厂拌热再生沥青混凝土，以有效的提高沥青路面的高温稳定性与抗车辙能力。

E.3.3 下承层处理

当原有路面实测弯沉 $>50(1/100\text{mm})$ 时，采用20cm 水泥稳定碎石（4.5%~5.0%）换填补强后，再加铺新路面结构层。

E.3.4 实施方案

K90+161~K95+514的一般路段，第1、2行车道8.2m范围，铣刨旧路20cm后，加铺5cmAC-16C型中粒式SBS 改性沥青砼+7cmAC-20C 型中粒式沥青砼（掺抗车辙剂0.4%）+沥青粘层+8cmAC-25C型粗粒式厂拌热再生沥青混合料+沥青封层；交叉口渠化路段，第1、2行车道8.2m范围，铣刨旧路20cm后，加铺的路面结构同一般路段加铺的路面结构，第3行车道及紧急停车带6.55m范围，铣刨旧路12cm后，加铺5cmAC-16C 型中粒式SBS改性沥青砼+7cmAC-20C型中粒式沥青砼（掺抗车辙剂0.4%）+沥青粘层。

K91+100~K92+100的第3行车道及紧急停车带6.55m范围，铣刨旧路12cm后，加铺5cmAC-16C型中粒式SBS改性沥青砼+7cmAC-20C型中粒式厂拌热再生沥青混合料+沥青粘层。

E.3.5 厂拌热再生沥青混凝土适用范围

根据实施方案和工程经验，厂拌热再生沥青混凝土的具体适用范围如表E.8所示。

表E.8 厂拌热再生沥青混合料建议适用范围

沥青混合料级配类型	RAP 掺量 (%)	适宜的路面层位	适用公路等级
AC-20C	20~40	中面层	二级公路
AC-25C	20~40	下面层	二级公路

E.4 路面结构层验算

- 根据路况调查和实施方案，原有路面破损不严重且结构性能较好，采用铣刨至水泥稳定碎石基层再加铺沥青混凝土方案时，按照 JTG D50-2017 对改建路面规定的方法，应同时对既有路面结构层和加铺层进行结构验算，加铺层的设计参数按新建路面结构确定，原路面结构层的设计参数利用芯样实测的方法进行确定；
- 根据路面结构组合，确定水泥稳定碎石层层底拉应力和沥青混合料层永久变形量为设计指标；
- 采用多层弹性体系理论程序计算各设计指标的力学相应量；
- 按照 JTG D50-2017 附录 B 的规定进行路面结构验算，验算结果符合该规范第 3.0.6 条的规定；
- 按照 JTG D50-2017 附录 B.7 计算路面结构的路表验收弯沉值。

E.5 材料

E.5.1 新料

配合比所用的道路石油沥青、矿料、填料均符合 JTG F40 中相应规定要求。

E.5.2 RAP

E.5.2.1 RAP的回收

根据原路面沥青混凝土层厚度调查结果，采用2m铣刨机进行冷铣刨，根据铣刨速度试验确定铣刨基准速度为6m/min，铣刨深度控制在16~18cm，进行分段回收。

E.5.2.2 RAP分类定级与使用要求

根据表E.9检测结果，对RAP进行分类定级。

表E.9 RAP 分类定级标准

材料	检测项目	检测值			
		43.0	44.5	47.6	45.0
RAP 中沥青	针入度 (0.1mm) (25℃, 100g, 5s)				

从表中检测结果，该RAP属于一等RAP，热再生沥青混合料的最大掺量可达40%。

E.5.2.3 RAP的预处理与堆放

将RAP分成 RAP-1 (0~9.5mm) 和RAP-2 (9.5mm~26.5mm) 两档。对经过预处理的RAP各项技术指标进行检测, 具体检测结果如表E. 10和E. 11所示。

表E. 10 RAP-1 (0~9.5mm) 检测结果

材料	检测项目	实测值	技术要求	评定结果
RAP	含水量 (%)	2.1	≤3.0	合格
	含泥量 (%)	1.2	≤2.5	合格
	RAP矿料级配	结果略	实测	—
	沥青含量 (%)	4.6	≥2.5	合格
	砂当量 (%)	65	>55	合格
RAP 中的沥青	针入度 (0.1mm) (25℃, 100g, 5s)	46.7	≥15	合格
	粘度 (Pa·s) (60℃)	530	实测	—
	软化点TR&B (℃)	58.2	实测	—
	延度 (cm) (15℃)	28	实测	—
RAP 中的粗集料	针片状颗粒含量 (%)	8.7	≤20	合格
	压碎值 (%)	18.8	≤30	合格
RAP 中的细集料	棱角性 (s)	42	实测	—

表E. 11 RAP-2 (9.5mm~26.5mm) 检测结果

材料	检测项目	实测值	技术要求	评定结果
RAP	含水量 (%)	1.8	≤3.0	合格
	含泥量 (%)	0.7	≤2.5	合格
	RAP级配	结果略	实测	—
	沥青含量 (%)	3.7	≥2.5	合格
	砂当量 (%)	72	>55	合格
RAP 中的沥青	针入度 (0.1mm) (25℃, 100g, 5s)	46.7	≥15	合格
	粘度 (Pa·s) (60℃)	530	实测	—
	软化点TR&B (℃)	58.2	实测	—
	延度 (cm) (15℃)	28	实测	—
RAP 中的粗集料	针片状颗粒含量 (%)	9.4	≤20	合格
	压碎值 (%)	20.1	≤30	合格
RAP 中的细集料	棱角性 (s)	45	实测	—

E. 6 厂拌热再生沥青混合料配合比设计 (以AC-20C为例)

E. 6.1 厂拌热再生沥青混合料类型

根据厂拌热再生沥青路面结构层设计结果, 确定厂拌热再生沥青混合料的类型为AC-20C, 并作为本工程的中面层或下面层。

E. 6.2 矿料级配范围

厂拌热再生沥青混合料级配应符合JTG F40规定的相应AC-20C热拌沥青混合料级配范围要求。

E. 6.3 RAP掺量确定

根据E. 3.4所确定掺量范围，考虑工程要求、公路等级、使用层位、气候条件、交通荷载，并参考当地工程经验和沥青混凝土拌和设备的实际情况，确定RAP掺配比例为30%。

E. 6.4 新沥青标号确定和再生剂的使用

根据RAP的性质和掺配比例，选择新沥青等级为80（25℃，100g，5s），不需要添加再生剂。根据新旧沥青掺配比例和再生剂掺量，进行新旧沥青掺配试验，验证热再生沥青（调和沥青）标号为70（25℃，100g，5s），不需要重新选择沥青或者改变掺配比例。

E. 6.5 材料取样、试验

RAP的技术性能如表E. 11和E. 12所示，沥青、矿料、填料等新料均符合JTG F40中相应规定要求。

E. 6.6 沥青用量估算

E. 6.6.1 估算总沥青用量

考虑工程材料特性、使用层位、气候特点、交通量等条件，结合当地的工程经验进行估计。其他情形，并参照JTG F41所给出计算公式，估算总沥青用量为4.46%。

E. 6.6.2 估算新沥青用量

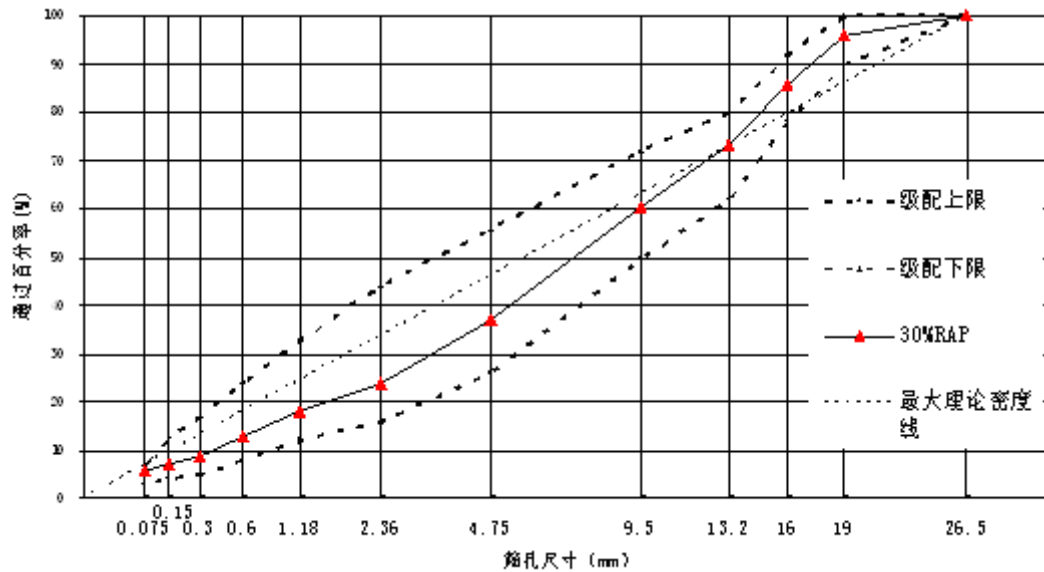
参照JTG F41所给出计算公式，估算新沥青用量为4.15%。

E. 6.7 矿料合成级配设计

将预处理后粗细不同两档RAP-1和RAP-2的矿料分别作为热再生混合料中一种矿料与新集料进行合成级配设计，各组成材料级配和合成级配结果如表E. 12和图E. 1所示。

表E. 12 矿料级配和合成级配

筛孔 (mm)	RAP-1 (%)	RAP-2 (%)	石屑 (%)	碎石 -1 (%)	碎石 -2 (%)	碎石 -3 (%)	矿粉 (%)	合成	工程设计级配范围		
									上限	下限	中值
26.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
19	100	100	100	100	100	84.5	100	96.0	90	100	95
16	100	99.8	100	100	100	45.3	100	85.7	78	92	85
13.2	100	97.0	100	100	92.6	5.9	100	73.2	62	80	71
9.5	99.2	83.7	100	100	54.3	0.7	100	60.3	50	72	61
4.75	84.6	58.1	99.9	47.7	4.7	0.2	100	37.0	26	56	41
2.36	53.5	38.6	86.3	8.7	0.5	0.2	100	23.8	16	44	30
1.18	42.6	26.2	67.2	7.0	0.5	0.2	100	18.1	12	33	22.5
0.6	32.5	14.0	47.5	6.6	0.5	0.2	100	12.7	8	24	16
0.3	20.3	9.6	31.2	6.2	0.5	0.2	96.3	8.8	5	17	11
0.15	19.6	5.6	25.0	5.8	0.5	0.2	92.0	7.3	4	13	8.5
0.075	15.4	4.2	19.3	5.0	0.5	0.2	76.9	5.8	3	7	5
材料组成	10.0	20.0	10.0	10.0	23.0	26.0	1.0	100	—	—	—



图E.1 矿料合成级配曲线图

E.6.8 确定最佳新沥青用量

选取3.46%、3.96%、4.46%、4.96%和5.46%五种不同沥青用量配制沥青混合料，测试其各项性能，具体结果如表E.13和图E.2所示，最终确定最佳沥青油石比为4.40%。

表E.13 马歇尔试验各项体积指标汇总

沥青用量 (%)	毛体积相对密度 (g/cm ³)	稳定度(kN)	空隙率 (%)	流值 (mm)	矿料间隙率 (%)	有效沥青饱和度 (%)
3.46	2.335	10.62	6.6	1.3	13.4	50.6
3.96	2.348	11.25	5.4	1.8	13.3	59.6
4.46	2.357	11.13	4.3	2.5	13.4	68.1
4.96	2.360	11.06	3.5	3.4	13.7	74.4
5.46	2.358	10.74	2.9	4.6	14.3	79.7

E.6.9 目标配合比设计检验

对最佳沥青用量（或油石比）下的热再生沥青混合料各项技术指标的验证，具体检测结果如表E.14所示。

表E.14 热再生沥青混合料各项技术指标验证汇总

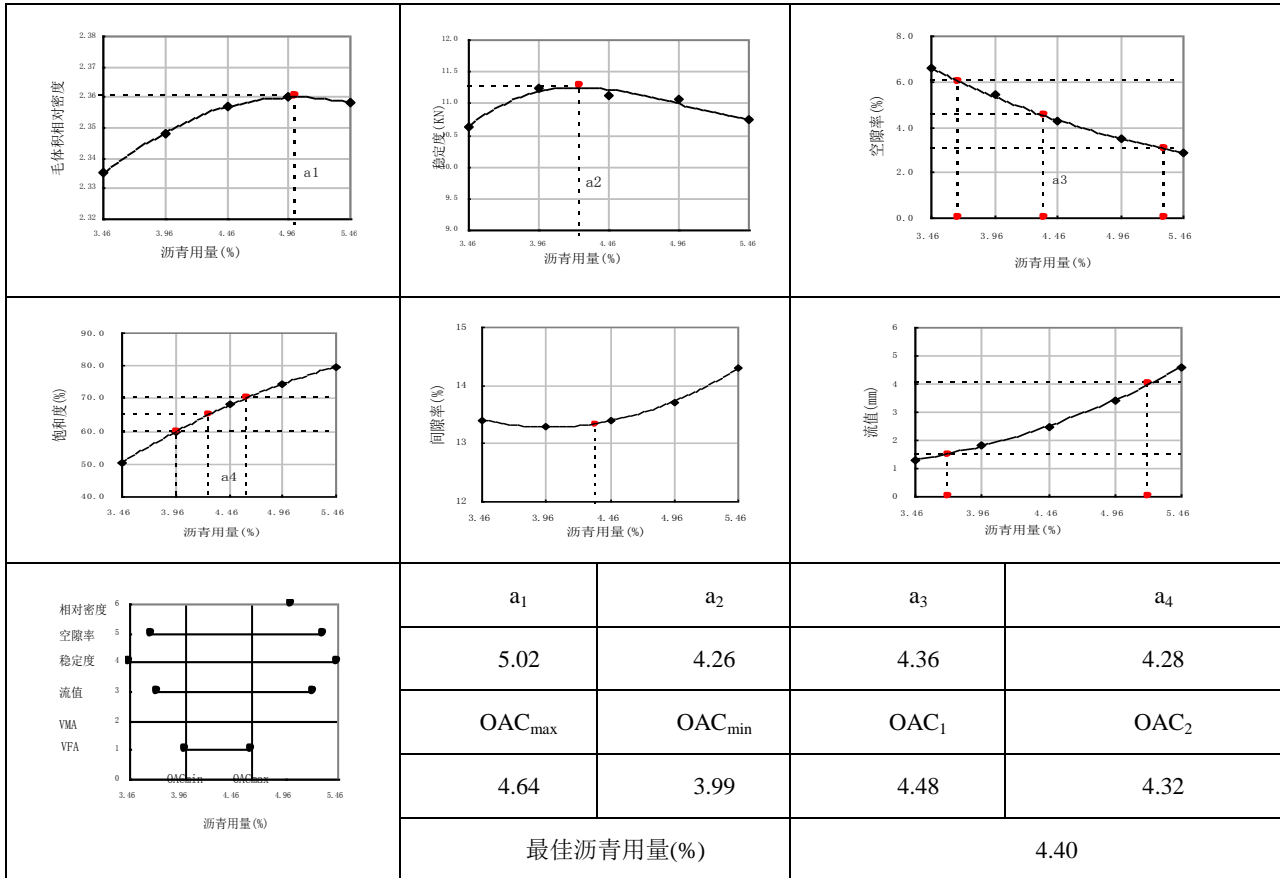
最佳沥青用量 (%)	检测项目				
	浸水马歇尔残留稳定度 (%)	冻融劈裂残留强度比 (%)	动稳定度 (次/mm)	低温弯曲破坏应变 (μ ϵ)	渗水系数 (ml/min)
4.40	93.5	78.2	1523	2134	96
技术要求	不小于 80	不小于 75	不小于 1000	不小于 2000	不大于 120

E.6.10 生产配合比设计

取目标配合比设计的最佳油石比4.40%和4.40%±0.3%，以及生产配合比级配的矿质混合料，用试验室的小型拌和机拌制沥青混合料进行马歇尔试验，综合确定生产配合比的最佳沥青用量为4.3%，最佳沥青用量与目标配合比设计的结果相差-0.1%，符合要求。

E.6.11 生产配合比验证

按生产配合比确定的设计结果进行试拌和试铺，按照JTG F40的规定进行生产配合比验证，相关技术指标均符合要求。



图E.2 马歇尔各项体积指标与沥青用量关系

E.7 施工（以AC-20C厂拌热再生混凝土下面层为例）

E.7.1 施工准备

根据厂拌热再生技术的特点，结合本项目的实际情况，编制施工组织设计，并包括以下内容：

- a) RAP 及其他原材料的储备计划、料源地点、采备方式、运输形式和堆放场地；
- b) 根据 RAP 掺量和目标配合比设计，合理安排 RAP 的破碎和筛分生产计划，保证 RAP 的供应质量稳定和及时；
- c) 制定试验路段及各结构层的施工计划、机械设备的配备和人员的安排计划、采用的工艺和工序的衔接要求、特殊气候条件（雨季、高温、低温）下的施工对策，以及自检和质保体系、安全、环保措施等。

E.7.2 试验段

在正式铺筑厂拌热再生沥青混合料之前，在正线上铺筑300m试验路段，并按照JTG F40规定进行相关试验检测，并确定施工方案。

E.7.2.1 主要施工设备

本工程采用的主要设备有：

- a) 3000 型间歇式沥青混凝土拌和设备，并配有再生加热滚筒，可对 RAP 单独烘干和加热，其他配置符合本标准 8.4 的规定；
- b) 沥青混凝土破碎筛分系统 1 套；
- c) 运输卡车 20 辆，并符合本标准 8.5 的规定；
- d) 摊铺机 2 台，每台最大摊铺宽度为 8m；
- e) 压路机 4 台，包括静重 13t 双钢轮压路机 2 台，静重 12t 双钢轮压路机 1 台，静重 25t 胶轮压路机 1 台。

E.7.2.2 拌和

将计量好的新集料与RAP干拌15s后，再喷入计量的沥青进行拌和，总拌和时间为65s。

对试拌的热再生混合料进行取样，并通过抽提检测热再生混合料的级配、油石比，同时成型马歇尔试件，测定空隙率、稳定性、流值、浸水马歇尔试验残留稳定性等，试验结果符合要求。

E.7.2.3 温度控制

采用金属探测针插入式数显温度计对热再生沥青混合料各环节的施工温度进行测量，温度检测结果见表E.15。

表E.15 厂拌热再生沥青混合料施工温度检测结果

项目	检测结果	
RAP 预热温度 (°C)	125	
新集料加热温度 (°C)	188	
新沥青加热温度 (°C)	165	
再生剂加热温度 (°C)	122	
拌和温度 (°C)	170	
出料温度 (°C)	165	
运输到现场温度 (°C)	155	
摊铺温度 (°C)	150	
压实温度 (表面) (°C)	开始	145
	終了	110
开放交通温度 (°C)	36	

E.7.2.4 运输

热再生混合料装车时应分前、中、后三次装入自卸车内，以避免离析。运料车每次使用前后必须清扫干净，在车厢板上涂一薄层防止沥青粘结的隔离剂或防粘剂，并避免有余液积聚在车厢底部。从拌和机上向运料车上装料时，应多次挪动汽车位置，平衡装料，以减少混合料离析。运料车运输混合料用苫布覆盖保温、防雨、防污染。

E. 7. 2. 5 摊铺

摊铺机开工前提前0.5h预热熨平板，温度不低于100℃，摊铺温度应不低于145℃。松铺系数根据试铺试压确定，取1.25。摊铺时，摊铺机的螺旋布料器应相应于摊铺速度调整到保持一个稳定的速度均衡的转动，两侧应保持有不少于送料器2/3高度的混合料，以减少在摊铺过程中混合料的离析。摊铺时保证摊铺机前至少有1辆料车等候。在摊铺过程中，边摊铺，边卸料，卸完料后，运输车即离去，另一辆车再将料倒向摊铺机。同时，保证摊铺机在摊铺过程中匀速前进，不得中途随意变速或停顿，根据拌和楼的生产能力，控制摊铺机行走速度为2.5m/min。

E. 7. 2. 6 碾压

碾压时严格按照“紧跟、慢压、高频、低幅”的原则进行，压路机紧跟在摊铺机后面碾压，在终压温度前消除全部轮迹，达到要求的压实度后立即停止压路机作业，以免过压。碾压分为初压、复压和终压三个阶段。根据试验段碾压工艺总结，采用以下碾压组合和温度控制方式：

初压：采用12t双钢轮压路机静压2遍，速度控制在2.0km/h~2.5km/h。

复压：采用13t双钢轮压路机高频低幅振动碾压3遍，复压时压路机速度控制在3.5km/h~4.5km/h。

终压：采用25t胶轮压路机碾压5遍，终压时压路机速度控制在4.5km/h~5.5km/h。

E. 7. 2. 7 养生和开放交通

厂拌热再生沥青混合料下面层施工完毕后，自然冷却养生，在路面内部温度降低至50℃以下后才开放交通。

E. 7. 2. 8 质量检验

在施工过程中对RAP进行了质量检验，表E.16和表E.17给出了施工某日两档RAP的具体检测结果。

表E.16 RAP-1 (0~9.5mm) 检测结果

材料	检测项目	检测结果	试验方法
RAP	含水量 (%)	2.2	本规范附录 A
	含泥量 (%)	1.3	
	RAP级配	已测 (结果略)	
	沥青含量 (%)	4.7	
	砂当量 (%)	68	
RAP 中的沥青	针入度 (0.1mm) (25℃, 100g, 5s)	47.9	
	粘度 (Pa·s) (60℃)	540	
	软化点TR&B (℃)	59.2	
	延度 (cm) (15℃)	30	
RAP 中的粗集料	针片状颗粒含量 (%)	8.7	
	压碎值 (%)	17.8	
RAP 中的细集料	棱角性 (s)	41	

表E.17 RAP-2 (9.5mm~26.5mm) 检测结果

材料	检测项目	检测结果	试验方法
RAP	含水量 (%)	1.6	本规范附录 A
	含泥量 (%)	0.8	
	RAP级配	已测 (结果略)	
	沥青含量 (%)	3.8	
	砂当量 (%)	73	
RAP 中的沥青	针入度 (0.1mm) (25℃, 100g, 5s)	47.7	
	粘度 (Pa·s) (60℃)	550	
	软化点TR&B (℃)	59.2	
	延度 (cm) (15℃)	29	
RAP 中的粗集料	针片状颗粒含量 (%)	8.4	
	压碎值 (%)	18.1	
RAP 中的细集料	棱角性 (s)	46	

在施工过程中对厂拌热再生沥青混合料进行了质量检验，表E.18给出了施工某日的具体检测结果。

E.7.2.9 厂拌热再生沥青路面铺筑过程中随时对铺筑质量进行评定，检测和评定结果略。

E.7.2.10 对厂拌热再生沥青混凝土路面进行质量检验评定，检验与评定结果略。