

DB33

浙 江 省 地 方 标 准

DB33/T 715—2018

代替 DB33/T 715—2008

公路泡沫沥青冷再生路面设计与施工技术 规范

Design & construction specification for asphalt pavement of cold recycling layer with
foamed bitumen

2018 – 12 – 21 发布

2019 – 01 – 21 实施

浙江省市场监督管理局 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 材料	2
5 路面结构设计	5
6 配合比设计	8
7 冷再生施工	13
8 施工质量管理与检查	22
9 工程质量的检验评定	26
附录 A (规范性附录) 沥青发泡性能试验方法	28
附录 B (规范性附录) 探坑调查与回收沥青路面材料 (RAP) 取样试验分析	30
附录 C (规范性附录) 泡沫沥青冷再生混合料单轴压缩动态模量试验方法	33
附录 D (规范性附录) 泡沫沥青冷再生混合料的拌和与成型试验方法	34
附录 E (规范性附录) 泡沫沥青冷再生混合料的劈裂强度试验方法	36
附录 F (规范性附录) 泡沫沥青冷再生混合料的无侧限抗压强度试验方法	37
附录 G (规范性附录) 泡沫沥青冷再生混合料的车辙试验方法	38
附录 H (规范性附录) 原沥青路面 RAP 回收铣刨机铣刨速度试验	39
附录 I (规范性附录) 某公路泡沫沥青冷再生路面设计实例	41

前 言

本标准依据GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准代替DB33/T 715—2008，与DB33/T 715—2008相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

——修改了标准名称；

——修改了范围（见1，2008版的1）；

——修改了规范性引用文件（见2，2008版的2）；

——修改了术语与定义（见3，2008版的3），增加了回收沥青路面材料（见3.1），修改了沥青路面冷再生（见3.2，2008版的3.1），修改了泡沫沥青（见3.3，2008版的3.2），修改了泡沫沥青膨胀率（见3.4，2008版的3.6），修改了泡沫沥青半衰期（见3.5，2008版的3.7），修改了泡沫沥青厂拌冷再生（见3.6，2008版的3.3），修改了泡沫沥青就地冷再生（见3.7，2008版的3.4），增加了冷再生混合料合成级配（见3.8），删除了泡沫沥青冷再生（2008版的3.5），删除了泡沫沥青冷再生混合料（2008版的3.9）；

——删除了一般规定（2008版的4）；

——增加了材料（见4）；

——修改了路面结构设计（见5，2008版的5），增加了一般规定（5.1），修改了泡沫沥青冷再生路面结构设计流程图（见5.2.1，2008版的5.2.2.2），增加了原路面历史信息收集（见5.2.2），修改了原路面状况调查（见5.2.3，2008版的5.1），增加了交通量调查（见5.2.5），增加了冷再生适应性分析（见5.2.6），修改了结构设计方法（见5.3，2008版的5.2），增加了拟定路面结构方案（见5.3.3），修改了常用结构厚度及下承层承载力要求（见5.3.5，2008版的5.2.2.3），修改了材料的设计参数（见5.3.7，2008版的6.1.10）；

——修改了配合比设计（见6，2008版的6.1），增加了一般规定（见6.1），修改了初步配合比设计流程图（见6.2.1，2008版的6.1.1），增加了RAP取样与性能测试（见6.2.2），增加了新加料性能测试（见6.2.3），删除了确定沥青的最佳发泡条件（2008版的6.1.2），修改了水泥用量（见6.2.4，2008版的6.1.3），修改了级配范围（见6.2.5，2008版的6.1.4），增加了材料组成（见6.2.6），修改了混合料的最佳含水量和最大干密度（见6.2.7，2008版的6.1.5），增加了预估泡沫沥青用量（见6.2.8），修改了混合料拌和与成型（见6.2.9，2008版的6.1.6），增加了试件的养生（见6.2.10），修改了劈裂强度试验与干湿劈裂强度比（见6.2.11，2008版的6.1.7），修改了初选材料组成及泡沫沥青用量（见6.2.12，2008版的6.1.8），修改了混合料设计指标要求（见6.2.13，2008版的6.1.9），修改了结构设计参数（见6.2.14，2008版的6.1.10），增加了初步配合比设计报告（见6.2.15），增加了生产配合比设计（见6.3），增加了生产配合比设计验证（见6.4）；

——修改了冷再生施工（见7，2008版的6.2和6.3），增加了一般规定（见7.1），修改了厂拌冷再生施工（见7.2，2008版的6.2），修改了厂拌冷再生施工流程图（见7.2.1，2008版的6.2.1），增加了施工准备（见7.2.2），修改了原路面的铣刨（见7.2.3，2008版的6.2.4），修改了下承层（见7.2.4，2008版的6.2.5），增加了生产配合比设计（见7.2.5），修改了试验路段（见7.2.6，2008版的6.2.6），修改了拌制（见7.2.7，2008版的6.2.7），修改了运输（见7.2.8，2008版的6.2.8），修改了摊铺（见7.2.9，2008版的6.2.9），修改了碾压（见7.2.10，2008版的6.2.10），修改了接缝（见7.2.11，2008版的6.2.11），增加了养生（见7.2.12），增加

了开放交通（见7.2.13），修改了就地冷再生施工（见7.3，2008版的6.3），修改了就地冷再生施工流程图（见7.3.1，2008版的6.3.1），增加了施工准备（见7.3.2），增加了生产配合比设计（见7.3.3），修改了试验路段（见7.3.4，2008版的6.3.4），增加了新集料的添加（见7.3.5），修改了水泥的添加（见7.3.6，2008版的6.3.6），修改了再生机作业（见7.3.7，2008版的6.3.7），修改了施工作业段及长度（见7.3.8，2008版的6.3.8），修改了碾压（见7.3.10，2008版的6.3.11），修改了接缝（见7.3.11，2008版的6.3.9），增加了养生（见7.3.12），增加了开放交通（见7.3.13）；

——修改了施工质量管理与检查（见8，2008版的7），修改了再生设备的管理与检查（见8.2，2008版的7.2），修改了原材料的质量管理与检查（见8.3，2008版的7.3），修改了再生混合料的质量管理与检查（见8.4，2008版的7.4），修改了再生层的质量管理与检查（见8.5，2008版的7.5）；

——修改了工程质量的检验评定（见9，2008版的8）；

——修改了附录A（见附录A，2008版的附录A）；

——增加了附录B探坑调查与回收沥青路面材料（RAP）取样试验分析（见附录B）；

——增加了附录C泡沫沥青冷再生混合料单轴压缩动态模量试验方法（见附录C）；

——修改了泡沫沥青冷再生混合料的劈裂强度试验方法（见附录E，2008版的附录C）；

——修改了泡沫沥青冷再生混合料的无侧限抗压强度试验方法（见附录F，2008版的附录D）；

——修改了泡沫沥青冷再生混合料的车辙试验方法（见附录G，2008版的附录E）；

——增加了旧沥青路面RAP回收铣刨机铣刨速度试验（见附录H）；

——增加了泡沫沥青冷再生路面设计实例（见附录I）；

——删除了某省道泡沫沥青冷再生路面设计实例（见2008版的附录F）；

——删除了泡沫沥青冷再生混合料配合比设计实例（见2008版的附录G）；

——删除了本规程用词说明（见2008版附录H）；

——删除了条文说明（见2008版的附录I）。

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：嘉兴市公路与港口学会，嘉兴市交通工程质量安全监督站，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：严凤祥、肖葳、拾方治、金国华、李秀君、杨智敏、高德明、杨惠德、张善华、周海生、熊建祥、严慧斐、邬谷丰、刘学、荆旭

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——DB33/T 715—2008。

公路泡沫沥青冷再生路面设计与施工技术规范

1 范围

本标准规定了公路泡沫沥青冷再生路面的材料、结构设计、配合比设计、施工及质量管理与检查、工程质量的检验评定等的技术要求。

本标准适用于公路泡沫沥青冷再生路面的设计、施工及质量检验。

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。

JTG D50—2017 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 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 F40 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 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

JTG H20 公路技术状况评定标准

JGJ 63 混凝土用水标准

DB33/T 896—2013 高等级公路沥青路面设计规范

3 术语和定义

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)

采用冷铣刨方式从沥青路面上获得的旧沥青混凝土材料，包括多次再生利用过的旧沥青路面材料。

[改写JTG F41—2008，术语2.1.1。]

3.2

沥青路面冷再生 cold recycling of asphalt pavement

采用专用机械设备在常温下对原沥青路面或者回收沥青路面材料（RAP）进行处理，并添加一定比例的新集料、新沥青等形成路面结构层的技术。

3.3

泡沫沥青 foamed bitumen

将热沥青和水在专用的发泡装置内混合、膨胀，形成的含有大量均匀分散气泡的沥青材料。

3.4**泡沫沥青膨胀率 expansion ratio**

泡沫沥青发泡状态下的最大体积与未发泡时沥青体积的比值。

3.5**泡沫沥青半衰期 half life**

泡沫沥青从最大体积衰减到最大体积的50%所用的时间。

3.6**泡沫沥青厂拌冷再生 cold recycling in plant**

原沥青路面材料经过铣刨，运送至指定的场地，根据需要添加新料，通过固定的再生设备加入泡沫沥青，在常温下拌和形成新的再生混合料，运送至道路施工现场，使用摊铺设备进行摊铺，压实成型后，成为路面一个结构层次的技术。

3.7**泡沫沥青就地冷再生 cold recycling in place**

采用专有的就地冷再生设备，对沥青路面进行现场冷铣刨，同时掺入一定数量的新集料、泡沫沥青、活性填料（水泥、石灰等）和水，经过常温拌和、摊铺、碾压等工序，一次性实现原沥青路面材料再生的技术。

3.8**冷再生混合料合成级配 gradation of cold recycling mix**

将烘干或自然风干至恒重的回收沥青路面材料（RAP）进行筛分试验测得的级配，与新集料、活性填料按照一定比例混合后的级配。

3.9**干湿劈裂强度比 Indirect Tensile Strength Ratio (ITSR)**

马歇尔试件浸水后的劈裂强度与未浸水试件的劈裂强度之比。

4 材料**4.1 一般规定**

4.1.1 泡沫沥青冷再生适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。

4.1.2 RAP 应按照不同来源、规格分类堆放，不得混杂；不同料源、品种、规格的新集料不得混杂堆放。

4.1.3 厂拌冷再生时，RAP 和新集料应堆放在硬化处理且排水通畅的地面上，并具备防雨措施；就地再生时，应加强运输至道路现场细集料和水泥的防潮。

4.2 沥青

用于发泡的沥青技术要求及适用范围应符合JTG F40关于道路石油沥青技术要求中70号的规定。

4.3 泡沫沥青

泡沫沥青的性能应满足表1的要求。

表1 泡沫沥青性能要求

检测项目	技术要求	试验方法
膨胀率（倍）	≥ 10	附录 A
半衰期（s）	≥ 8	

4.4 新集料

4.4.1 粗集料

粗集料是指粒径大于2.36mm，最大公称粒径为26.5mm的碎石材料。粗集料应洁净、干燥、无风化、无杂质、表面粗糙，并有颗粒级配，质量稳定，质量要求见表2。

表2 粗集料质量要求

检测项目	单位	技术要求		试验方法
		下面层	基层	
表观相对密度，不小于	g/cm^3	2.50	2.45	T0304 或 T0308
石料压碎值，不大于	%	28	30	T0316
吸水率，不大于	%	3.0	3.0	T0304 或 T0308
针片状颗粒含量，不大于	%	15	20	T0312
与沥青的黏附性，不小于	—	4	4	T0616
软石含量，不大于	%	5	5	T0320

4.4.2 细集料

细集料包括机制砂、天然砂，是指通过2.36mm的筛下部分。细集料应洁净、干燥、无风化、无杂质，并有颗粒级配，质量稳定，质量要求见表3；

表3 细集料质量要求

检测项目	单位	技术要求		试验方法
		下面层	基层	
表观相对密度，不小于	g/cm^3	2.50	2.45	T0328
坚固性（>0.3mm 部分），不小于	%	12	—	T0340
含泥量（小于0.075mm 的含量），不大于	%	3	5	T0333
砂当量，不小于	%	60	50	T0334

表3 细集料质量要求（续）

检测项目	单位	技术要求		试验方法
		下面层	基层	
亚甲蓝值，不大于	g/kg	5	—	T0346
含水率，不大于	%	4	4	T0332
棱角性（流动时间），不小于	s	30	—	T0345

4.5 回收沥青路面材料（RAP）

RAP应满足如下要求：

- a) RAP 组成应稳定，质量检测项目和要求见表 4；

表4 RAP 质量检测项目与要求

材料	检测项目	单位	技术要求		试验方法
			下面层	基层	
RAP (厂拌)	含水率，不大于	%	实测	实测	附录 B
	RAP 级配和 RAP 矿料级配	—	实测	实测	
	沥青含量	%	实测	实测	
	4.75mm 以下部分砂当量 ^a ，不小于	%	60	55	
	超粒径颗粒（大于 31.5mm）含量，不大于	%	10	12	T0312
	4.75mm 通过率变异性 ^b ，不大于	%	±5	±8	T0301 或 T0327
	0.075mm 通过率变异性 ^b ，不大于	%	±2	±4	T0301 或 T0327
RAP (就地)	RAP 级配和 RAP 矿料级配	—	实测	实测	附录 B
	沥青含量	%	实测	实测	
	4.75mm 以下部分砂当量 ^a ，不小于	%	60	55	
RAP 中沥青	针入度（25℃，5s，100g）	0.1mm	实测	实测	T0604
	软化点（R&B）	℃	实测	实测	T0606
	延度（15℃）	cm	实测	实测	T0605
RAP 中粗集料	针片状颗粒含量，不大于	%	15	20	T0312
	压碎值，不大于	%	28	30	T0316
	与沥青的粘附性，不小于	—	4	4	T0616
RAP 中细集料	棱角性	s	实测	实测	T0345
	2.36mm 以下砂当量，不小于	%	55	实测	T0334
^a 当 RAP 中不含有半刚性基层材料时，可不用检测砂当量。					
^b 4.75mm 和 0.075mm 通过率变异性在配合比设计阶段不用检测。					

- b) 当 RAP（厂拌）中超粒径颗粒含量达不到要求时，不得使用。可采用剔除超粒径颗粒或再次破碎、过筛重组的办法，使其达到要求；

- c) RAP 中粗集料、细集料指标达不到要求时，但掺配新集料后，混合后粗、细集料的指标符合表 4 要求时，可以使用，否则不得使用。

4.6 水泥

普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥可用于冷再生，技术指标应符合JTG/T F20的相关规定。

4.7 水

符合国家标准的饮用水均可用于冷再生施工，当采用其它水源或对水质有疑问时，应对水质进行检验，检验指标应符合JGJ 63等标准的要求。

5 路面结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 原路面的路况调查应重点调查各路段路面的结构组合、损坏的类型层位（或深度）、各层顶面的强度及各层路面材料的性状。

5.1.2 泡沫沥青冷再生路面应综合考虑原路面结构状况、道路等级、环境条件、交通流量、车辆构成、流量增长率、设计交通等级和使用要求，通过技术经济分析，按 JTG D50-2017 的规定进行结构组合设计。

5.1.3 泡沫沥青冷再生沥青路面结构层设计时应按照 DB33/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指标。

5.1.4 泡沫沥青冷再生技术主要应用于原路面结构病害的处治，通常应用于路面结构使用一定年限后的结构性补强，泡沫沥青冷再生混合料宜作为特重和重交通道路的基层，中等交通及以下道路的下面层或基层，不应作为各等级公路沥青路面的磨耗层。

5.2 结构设计

5.2.1 泡沫沥青冷再生路面结构设计应按图 1 所示的流程进行。

5.2.2 原路面历史信息收集应符合以下要求：

- a) 收集原路面设计、竣工等历史资料。主要包括原路面道路等级、路面结构、材料组成和各结构层材料配合比等方面资料；
- b) 收集原路面运行期间维修养护资料。包括维修段落、维修工艺、维修材料等。

5.2.3 原路面状况调查包括以下内容：

- a) 原路面技术状况调查内容应包括：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、路面抗滑性能指数 SRI 和路面结构强度指数 PSSI、车辙深度、原路面结构厚度及类型、国际平整度指数 IRI 等，调查方法和频率应符合 JTG H20 的规定；
- b) 根据原路面状况调查结果和历史信息，按照附录 B 要求将相同或接近路段分为若干个子路段；
- c) 按照附录 B 的要求做好原路面探坑调查和 RAP 取样试验分析。

5.2.4 综合原路面历史信息资料和原路面状况调查数据，分析路面病害成因。

5.2.5 交通量调查按照以下规定进行：

- 交通量调查应符合 JTJ D50 中相关规定。确定分析期内的累积交通轴载，以及施工期间高峰小时交通量；
- 对于泡沫沥青冷再生沥青路面交通量的调查，既要考虑交通部门的交通量观测站提供的混合交通量资料，以便对设计期间标准轴载作用次数进行预估，又要考虑轴载情况尤其是重载车辆对冷再生路面结构的实际影响值；
- 通过交通量调查，为冷再生沥青路面的设计方案和施工组织方案提供依据。

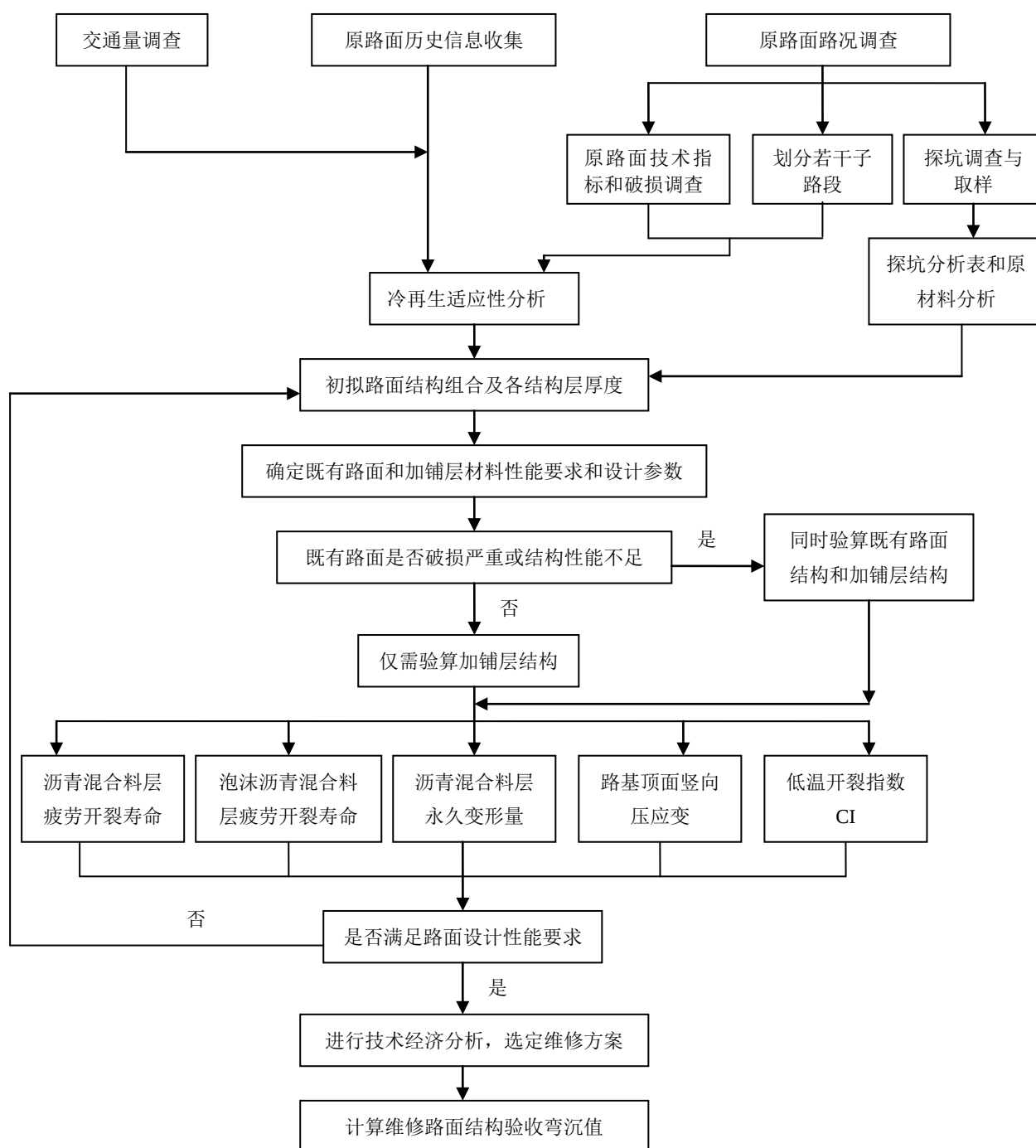


图1 泡沫沥青冷再生路面结构设计流程图

5.2.6 冷再生适应性分析按照以下要求进行：

- a) 根据根据划分子路段的路况和交通量调查，确定路面维修的层位，结合取样材料的分析评价，初步分析该路段是否适合泡沫沥青冷再生施工的技术要求；
- b) 根据原路面的技术状况、病害特征和其他约束条件（如标高、场地等），选用适宜的泡沫沥青冷再生工艺；
- c) 根据相应的交通流量和车载情况选择不同的泡沫沥青冷再生混合料类型。

5.3 设计方法

5.3.1 结构补强设计方法应按 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。

5.3.2 应按照 JTG D50—2017 中附录 B 沥青混合料层疲劳开裂验算方法，对泡沫沥青冷再生层疲劳开裂等进行验算。

5.3.3 泡沫沥青冷再生层作为路面结构中的柔性结构层。应根据交通等级、下承层承载能力要求和应用经验等，综合拟定路面结构方案。泡沫沥青冷再生路面常用结构厚度及下承层承载力要求见表 5。采用回弹模量评价下承层的结构强度，当下承层的承载力不满足表 5 要求时，应进行补强处理。

表5 泡沫沥青冷再生路面常用结构厚度及下承层承载力要求

交通等级 ^a	特重交通	重交通	中等交通	轻交通
沥青面层总厚度 (cm)	10~18	6~12	4~10	2~5
泡沫沥青再生层厚度 (cm)	12~25	12~20	12~18	12~15
下承层强度 E_0 (MPa)，不小于	250	200	150	100
^a 交通等级应按照 JTG D50—2017 的规定进行划分。				

5.3.4 沥青面层层数、厚度、级配类型应与公路等级、使用要求、交通条件相适应，沥青面层宜选用密级配的材料或通过设置防水层起到隔水作用，同时沥青面层与泡沫沥青冷再生层之间应设置封层。

5.3.5 按照 JTG D50—2017 中附录 B 计算泡沫沥青冷再生路面路表验收弯沉值。

5.3.6 对满足结构性能要求的路面结构组合方案，考虑经济性和施工操作性等因素进行综合比选，最终确定各项指标最优的方案。

5.3.7 各结构层设计参数的确定，应符合 JTG D50—2017 中 5.5.11 的规定，其中采用水平三时，可按照表 6 给出的范围确定泡沫沥青冷再生混合料的动态压缩模量，表 6 中泡沫沥青冷再生混合料的级配类型具体见表 7。

表6 泡沫沥青冷再生混合料 20℃动态压缩模量取值范围

级配类型	动态压缩模量 MPa
A	6000~10000
B	5000~10000
C	4000~10000

6 配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 泡沫沥青冷再生混合料配合比设计根据生产进程分为方案设计阶段的目标配合比设计、施工阶段的生产配合比设计以及生产配合比验证三个阶段。

6.1.2 方案设计时应完成目标配合比设计，基于混合料设计结果，分析采用泡沫沥青冷再生技术的可行性，为路面结构设计提供再生材料的设计参数。

6.1.3 施工开始前应完成生产配合比设计，应根据现场 RAP、新集料、沥青、水泥等原材料的实际性状，参考目标配合比设计结果，调整材料组成和用量，使再生混合料的性能满足设计要求和施工条件的实际。

6.1.4 生产配合比验证应在泡沫沥青冷再生施工试验段时进行，结合工程实际校核施工配合比。

6.2 目标配合比设计

6.2.1 目标配合比设计流程图

泡沫沥青冷再生混合料目标配合比设计流程按照图 2 执行。

6.2.2 RAP 取样和性能测试

按照附录 B 的方法从探坑获取 RAP，并按照表 4 规定的检测项目和要求对 RAP 进行性能分析，对于通过相关技术措施仍不能满足质量要求的 RAP，应改变设计方案。

6.2.3 新加料性能检测

新添加的粗集料、细集料、水泥和沥青等应按照以下要求进行质量检测：

- 对拟选用的粗集料、细集料和水泥按照本规范 4.4 和 4.6 的要求进行测试，并符合要求；
- 对拟选用的沥青按照本规范 4.2 的要求进行检测，并符合要求；对选用的沥青进行发泡性能试验来确定最佳发泡条件，具体试验方法见附录 A。在最佳发泡条件下，泡沫沥青的性能应满足表 1 的要求。

6.2.4 水泥用量

应根据工程实际需求选择合适的水泥用量，水泥的用量范围在 0~2.0%，对泡沫沥青冷再生混合料水稳定性和高温稳定性要求高的道路，选择用量范围的上限。

6.2.5 级配范围

用于泡沫沥青冷再生混合料的级配应满足以下要求：

- 根据 RAP 级配、新加料级配和水泥级配确定的合成级配应满足 0.075mm 的通过率不低于 3%；
- 泡沫沥青冷再生混合料的合成级配范围分为 A、B 和 C，具体级配范围要求见表 7；
- A 级配用于特重交通和重交通的基层，中等交通和轻交通的下面层或基层；B 级配用于中等交通和轻交通的下面层或基层；C 级配用于中等交通的基层，轻交通的下面层或基层；
- 结合道路交通等级和结构设计要求，选择适宜的泡沫沥青冷再生混合料合成级配。

6.2.6 材料组成

根据确定的合成级配范围，结合RAP的级配，选择不同粒径范围的新集料，调整不同的添加比例进行试配，确定2~3组材料组成。

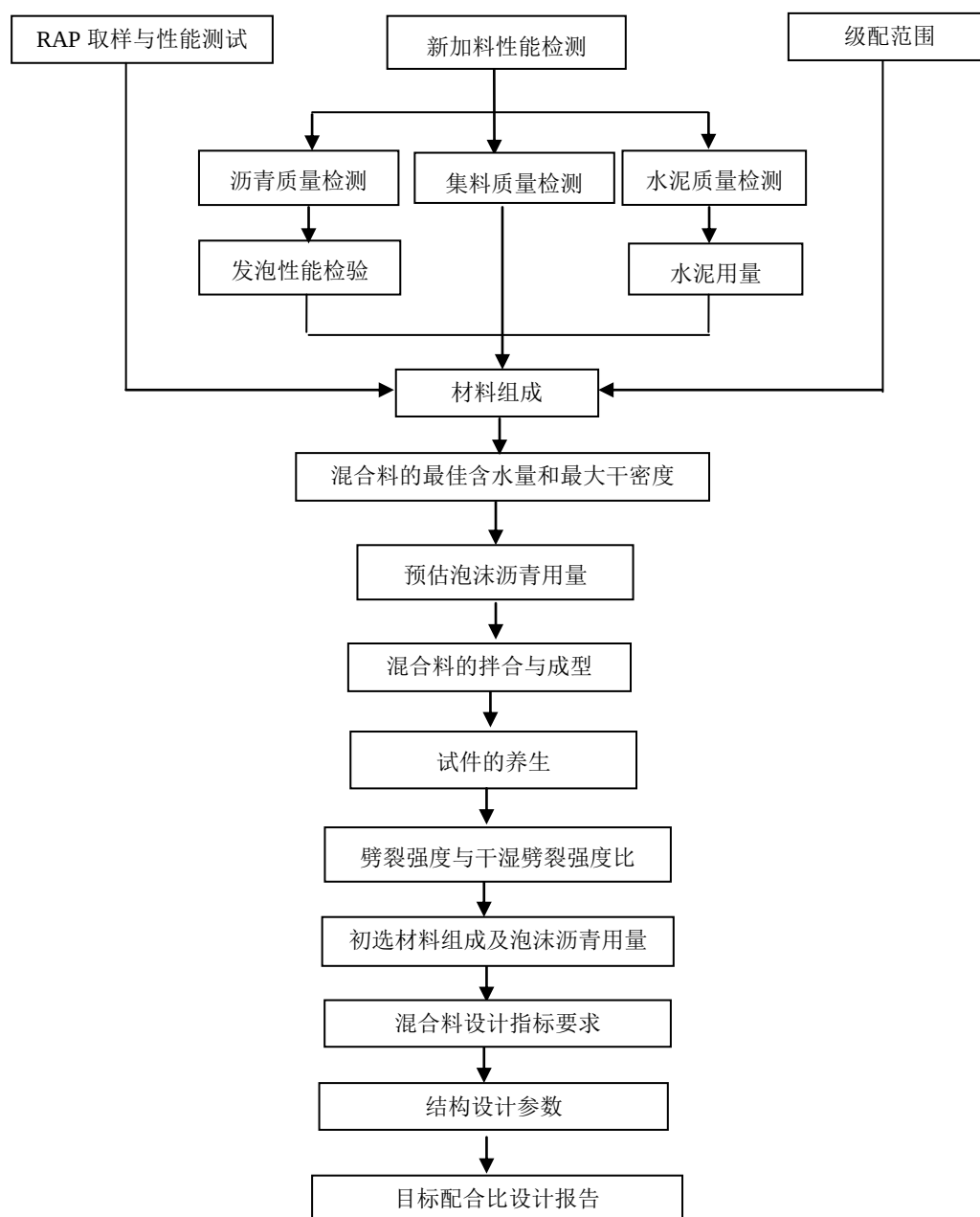


图2 泡沫沥青冷再生混合料目标配合比设计流程图

6.2.7 混合料的最佳含水量和最大干密度

按照现行 JTG E51-2015 中 T0804 的方法,对合成集料(包含水泥)进行击实试验,确定集料最大干密度和最佳含水量。泡沫沥青冷再生混合料的最佳拌和用水量取最佳含水量的 80%。

6.2.8 预估泡沫沥青用量

应根据泡沫沥青冷再生混合料的合成级配范围和 RAP 中沥青含量预估泡沫沥青用量,见表 8 所示。

6.2.9 混合料的拌和与成型

以预估的泡沫沥青用量为中值,以 0.3%为间隔拌和 5 组(-0.4%、-0.2%、中值、+0.2%、+0.4%)混合料,拌和好的泡沫沥青冷再生混合料,应在水泥初凝时间内完成成型,拌和与成型方法见附录 D。

表7 泡沫沥青冷再生混合料合成级配范围

筛孔尺寸 (mm)	各筛孔的通过率 (%)		
	A	B	C
31.5	100	100	100
26.5	75~100	75~100	75~100
19	60~90	60~95	60~95
16	52~80	52~85	52~90
13.2	45~70	45~75	45~85
9.5	38~55	38~65	38~75
4.75	30~45	30~52	30~60
2.36	25~35	25~42	25~50
1.18	18~30	18~35	18~40
0.6	12~22	12~28	12~32
0.3	8~18	8~22	8~25
0.15	6~12	6~15	6~20
0.075	4~8	4~12	4~15

表8 预估泡沫沥青用量 (%)

RAP 中沥青含量 (%)	级配类型		
	A	B	C
>4.0	1.8~2.0	1.8~2.1	1.8~2.2
3.0~4.0	2.0~2.2	2.0~2.3	2.0~2.4
2.0~3.0	2.2~2.4	2.2~2.5	2.2~2.6
<2.0	2.4~2.6	2.4~2.7	2.4~2.8

6.2.10 试件的养生

将试件连同试模室温条件下放置 24h,然后脱模。将脱模后的试件放入 $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ 通风烘箱养生 72h。

6.2.11 劈裂强度试验与干湿劈裂强度比

每种泡沫沥青用量下，成型两组标准马歇尔试件，按照附录 E 进行 25℃劈裂强度试验，并计算干湿劈裂强度比 ITSr。

6.2.12 初选材料组成及泡沫沥青用量

初选材料组成及泡沫沥青用量按下列要求获取：

- 将各组材料方案的干湿劈裂强度和干湿劈裂强度比与泡沫沥青含量回归关系曲线；
- 材料方案干劈裂强度及干湿劈裂强度比均最优的，作为初选材料组成；
- 初选材料组成的混合料湿劈裂强度最大值，所对应的泡沫沥青用量作为泡沫沥青用量的设计值。

6.2.13 混合料设计指标要求

泡沫沥青冷再生混合料性能设计指标应符合下列要求：

- 依据初选材料组成的泡沫沥青用量设计值，成型泡沫沥青冷再生混合料用于性能评定，各性能指标应满足表 9 的要求；
- 当泡沫沥青冷再生混合料作为路面基层时应进行无侧限抗压强度试验，具体方法按照附录 F；当泡沫沥青冷再生混合料作为路面面层时，可根据设计要求决定是否进行无侧限抗压强度试验；
- 当泡沫沥青冷再生混合料作为沥青路面下面层时应进行车辙试验，具体方法按照附录 G；当泡沫沥青冷再生混合料作为沥青路面基层时，可根据设计要求决定是否进行车辙试验；
- 当混合料性能指标不能满足表 9 设计要求时，应通过调整材料组成和沥青用量等方法重新进行混合料设计。

表9 混合料设计指标要求

检测项目		特重交通	重交通	中等交通		轻交通	
		基层	基层	下面层	基层	下面层	基层
马歇尔试验	稳定度 (KN) (60℃)， 不小于	7.0	6.0	5.0	5.0	5.0	4.0
	流值 (mm)	1.5~2.5	1.5~3.0	1.5~3.0	1.5~3.5	1.5~3.5	1.5~4.0
劈裂试验	干劈裂强度 ITS (MPa) (25℃)，不小于	0.50	0.45	0.45	0.40	0.40	0.30
	干湿劈裂强度比 ITSr (%), 不小于	80	80	80	75	80	75
无侧限抗压强度 UCS (MPa) (20℃)， 不小于		1.6	1.4	1.4	1.2	1.2	1.0
冻融劈裂强度比 TSR (%), 不小于		80	80	80	75	80	75
车辙试验	动稳定度 DS (次/mm) (60℃)，不小于	5000	5000	5000	4000	4000	3000

6.2.14 结构设计参数

各结构层设计参数的确定，应符合 JTG D50—2017 中 5.5.11 的规定，其中采用水平三时，可按照表 6 给出的范围确定泡沫沥青冷再生混合料的动态压缩模量。

6.2.15 目标配合比设计报告

目标配合比设计报告应包括：RAP 和其他新加料性能试验结果、水泥用量、选用的级配范围、RAP 和其他原材料的组成比例、最大干密度和最佳拌和用水量、干湿劈裂强度和劈裂强度比、泡沫沥青用量、混合料性能试验结果和结构设计参数试验结果等。

6.3 生产配合比设计

6.3.1 生产配合比设计流程

泡沫沥青冷再生混合料生产配合比设计流程参照图 2 执行。

6.3.2 RAP 取样和性能测试

根据不同的施工工艺和现场实际施工条件，按照附录 B 的方法从拌和场料堆或道路现场获取 RAP，并按照表 4 规定的检测项目和要求对 RAP 进行性能分析。

6.3.3 新加料性能检测

按本规范 6.2.3 相关要求执行。

6.3.4 水泥的用量

按照目标配合比设计的结果选定水泥用量。

6.3.5 级配范围

按照目标配合比设计的结果选定合成级配范围

6.3.6 材料组成

结合现场 RAP、新集料和水泥的实际级配，在满足合成级配范围要求的前提下，对 RAP 和新集料的材料组成进行适当调整，使其能够尽量贴近初步配合比设计结果确定的级配曲线。

6.3.7 混合料的最佳拌和用水量和最大干密度

按本规范 6.2.7 相关要求执行。

6.3.8 预估泡沫沥青用量

以目标配合比设计确定的最佳沥青用量作为生产配合比的预估泡沫沥青用量。

6.3.9 混合料的成型

以预估的泡沫沥青用量为中值，以 0.1% 为间隔拌合 3 组（-0.1%、中值、+0.1%）混合料，拌和好的泡沫沥青冷再生混合料，应在水泥初凝时间内完成成型，成型方法参照附录 D。

6.3.10 试件的养生

按本规范 6.2.10 相关要求执行。

6.3.11 劈裂强度试验与干湿劈裂强度比

按本规范 6.2.11 相关要求执行。

6.3.12 泡沫沥青用量

泡沫沥青用量按下列要求获取：

- a) 干湿劈裂强度及干湿劈裂强度比，回归这些指标与泡沫沥青含量关系曲线；
- b) 湿劈裂强度最大值，所对应的泡沫沥青用量作为生产配合比泡沫沥青用量。

6.3.13 混合料设计指标要求

泡沫沥青冷再生混合料性能指标应符合下列要求：

- a) 依据泡沫沥青用量设计值，重新拌和泡沫沥青冷再生混合料，对其进行各项性能试验，并应满足表 9 的要求；
- b) 当混合料性能指标不能满足表 9 设计要求时，应通过更换新集料和调整沥青用量等方法重新进行混合料设计。

6.3.14 生产配合比设计报告

根据两种不同生产工艺，生产配合比设计报告应包括以下内容：

- a) 对于厂拌冷再生工艺：铣刨机的铣刨深度和速度、RAP 和其他新加料性能试验结果、水泥用量、选用的级配范围、RAP 和其他原材料的组成比例、最大干密度和最佳拌合用水量、干湿劈裂强度和干湿劈裂强度比、泡沫沥青用量、混合料性能试验结果等；
- b) 对于就地冷再生工艺：就地再生机的铣刨深度和速度、RAP 和其他新加料性能试验结果、水泥用量、选用的级配范围、RAP 和其他原材料的组成比例、最大干密度和最佳拌合用水量、干湿劈裂强度和干湿劈裂强度比、泡沫沥青用量、混合料性能试验结果等。

6.4 生产配合比设计验证

6.4.1 对于厂拌冷再生工艺，按生产配合比确定的设计结果进行试拌和试铺。通过再生设备上的沥青发泡喷嘴进行沥青现场发泡效果验证，确定各档集料的进料速度、对再生混合料级配、沥青用量、水泥用量、最佳拌合用水量等指标进行验证，并从输料处提取再生混合料成型试件，对马歇尔稳定度、干湿劈裂强度和无侧限抗压强度等指标进行验证。

6.4.2 对于就地冷再生工艺，按生产配合比确定的设计结果进行试拌和试铺。通过再生设备上的沥青发泡喷嘴进行沥青现场发泡效果验证，确定采用人工撒布时每袋水泥撒布的面积或撒布机撒布的速度、新集料撒布或摊铺的厚度、对再生混合料级配、沥青用量、水泥用量、最佳拌合用水量等指标进行验证，并从再生机后方出料处提取再生混合料成型试件，对马歇尔稳定度、干湿劈裂强度和无侧限抗压强度等指标进行验证。

6.4.3 生产配合比验证结束后，应根据不同的生产工艺确定合理、清晰的生产参数，并为下一步试验段的施工做好准备。

7 冷再生施工

7.1 一般规定

7.1.1 泡沫沥青冷再生施工应采用专用的路面铣刨和再生设备。

7.1.2 泡沫沥青冷再生施工宜在气温较高时施工，当最低气温低于 10℃时，不宜进行施工。不应在雨天施工。施工时若遇雨则应采取必要的防雨遮盖措施，保护好已完工的再生层免遭雨淋。

7.1.3 沥青发泡温度宜在 $150^{\circ}\text{C}\sim 180^{\circ}\text{C}$ 之间，沥青发泡性能应满足 4.3 的要求。

7.1.4 泡沫沥青应在混合料中充分分散，一旦发现混合料中存在明显的沥青团或沥青丝时，应立即停止生产，查明原因加以解决后方可继续生产。已经生产的存在沥青团或沥青丝的混合料不得使用。

7.1.5 当泡沫沥青冷再生混合料中含有水泥时，从添加水泥开始至混合料碾压完成的时间间隔不得超过水泥的初凝时间。

7.1.6 泡沫沥青冷再生施工前应设专人负责设置路障、标志牌，控制与疏导通车车辆的行驶。

7.2 厂拌冷再生施工

7.2.1 施工流程图

厂拌冷再生施工流程如图3所示。

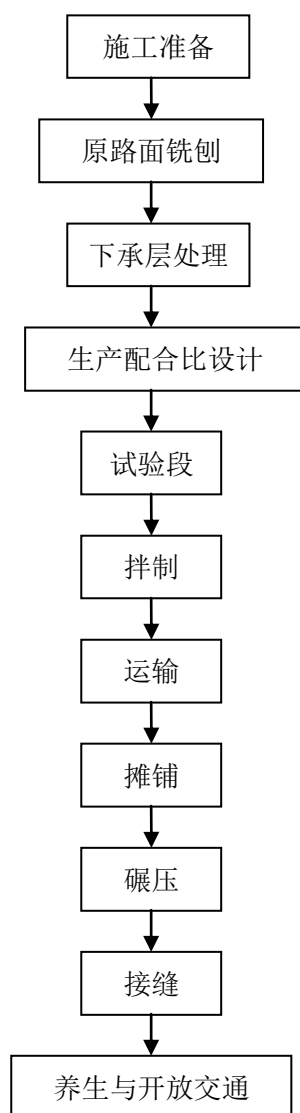


图3 厂拌冷再生施工流程图

7.2.2 施工准备

施工准备应包括以下内容：

- a) 制定施工组织设计，包括原路面铣刨计划、铣刨料的运输和存储方法、新集料的料源地点、采备方式、运输形式、堆放场地和储备计划、沥青加热和保温方式，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、环保措施以及相应的应急预案等内容；
- b) 拌和场地应满足以下要求：
 - 1) 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；
 - 2) 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、材料供应速度等经过计算确定，拌和场占地面积应满足施工需要，宜不小于 10000m^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；
 - 3) 拌和场地要有良好的排水、防水措施；
 - 4) 堆料场地和场区道路应进行必要的硬化。不得产生弹簧、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；
 - 5) 不同规格材料应严格分档、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。
- c) 泡沫沥青厂拌冷再生所用各种原材料应满足以下要求：
 - 1) 对提供新集料、沥青和水泥的生产企业进行严格考察，仔细筛选，并对原材料进行检测，同时要完成 RAP 材料有关性能的检测，确保所提供的原材料质量，不合格材料不得进入料场；
 - 2) RAP 在回收和存放时不得混入其它结构层材料和杂物，并且在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；
 - 3) 对于无法确定料源的或对质量有怀疑时，应按照 T0301 规定的取样方法在 RAP 料堆不同位置进行取样，取样点不少于 6 个，并对表 10 规定检测项目的通过率计算标准差，对于不满足表 10 要求的 RAP，不得使用；对于符合表 10 要求的 RAP，可以使用；

表10 RAP 变异性检验指标与要求

检测项目	检测频度	每次最小取样数量 (kg)	允许标准差或允许误差
0.075mm 通过率	每1000吨1次	10	标准差 $\leq 2.0\%$
4.75mm 及以上通过率	每1000吨1次	10	标准差 $\leq 5.0\%$

- 4) 不同来源的 RAP 材料应分别回收、分开堆放、不得混杂；堆放过程中应均匀堆放避免出现离析现象；回收和存放时不得混入其它材料，如水泥混凝土废料、杂物、土等杂质；
 - 5) 对于超粒径颗粒含量不符合表 4 要求的 RAP 应进行二次破碎；
 - 6) RAP 应防止阳光长时间照射，RAP 和新添加的集料应设防雨措施；
 - 7) 运输至场地的 RAP 应及时使用，堆放时间不宜超过 12 个月，堆放高度不宜高于 5m ；
 - 8) 为提高 RAP 的均匀性，宜使用小型推土机或铲车（自重不宜太大，防止 RAP 材料压实）摊开逐层堆料，使用 RAP 时应从料堆的一端开始在全高范围内铲料。
- d) 应配备齐全的施工机械和配件，应对冷再生拌和站、铣刨机、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。

做好开工前的保养和维护,并尽量避免在施工期间发生有碍施工进度和质量故障,主要配置设备如下:

- 1) 可生产泡沫沥青的连续式或间歇式专用厂拌冷再生设备,冷料仓不宜少于两个,配有水泥添加系统,并具有与测重传感器和数据显示仪相连的全电脑控制系统,发泡沥青的喷嘴应能够自清洗,其连续生产能力不宜低于 150t/h,且与生产需求量相适应;同时,应配有检测和试验喷嘴,以随时检查沥青的发泡效果;
- 2) 20t~40t 水泥料仓;
- 3) 30t 以上沥青加热保温罐;
- 4) 破碎筛分系统 1 套(必要时);
- 5) 装载机若干辆;
- 6) 铣刨机若干台,宜为同一型号;
- 7) 宜采用自动找平方式的摊铺机 1 台~2 台;
- 8) 25t 以上轮胎压路机 1 台~2 台, 8t~13.5t 双钢轮压路机 1 台~2 台, 15t~25t 单钢轮压路机(带强弱振动调整) 1 台~2 台;
- 9) 载重量 15t 以上的自卸汽车若干辆。

7.2.3 原路面铣刨

对原路面铣刨时,应满足以下要求:

- a) 应根据旧路面调查及 RAP 材料评价结果(沥青含量和级配情况)确定铣刨段落和厚度,分段、分层、分车道回收;
- b) 对于原有道路局部破碎严重和局部特殊修补的区域,应预先挖除掉,之后再统一进行铣刨。
- c) RAP 的回收应采用能对层厚自动控制的铣刨机回收,层厚误差控制在 $\pm 5\text{mm}$;
- d) 在大规模正式铣刨前,应按照附录 H 进行铣刨速度试验,通过比较不同铣刨速度的 RAP 级配,确定合适的铣刨速度范围;
- e) 铣刨前对原有路面应进行必要的清洗,保证 RAP 材料洁净;铣刨时宜选用同一铣刨宽度的铣刨机,同一批次铣刨应保持恒定的铣刨速度,且铣刨刀头完整,不得缺失;铣刨后的路槽应平整、坚实,符合规定的横坡,不得出现薄的夹层。

7.2.4 下承层

泡沫沥青厂拌冷再生混合料摊铺前应先检查下承层的质量,并符合以下要求:

- a) 应对下承层的承载能力(强度)和病害进行全面检测和调查;
- b) 对于承载能力(强度)低于设计值的区域或网裂、沉陷区域,应对下承层进行加固处理,可在已铣刨面的基础上再向下铣刨,并换填材料,压实后在新老交界处铺设 0.5m~1m 宽的聚酯玻纤网或抗裂贴;
- c) 对下承层存在裂缝情况进行仔细检查。当裂缝宽度小于 5mm 时,可在裂缝处先喷洒乳化沥青,再铺设 0.5m~1m 宽的聚酯玻纤网或抗裂贴;当宽度大于 5mm 时,应对裂缝进行开槽灌缝处理,并喷洒乳化沥青,再铺设 0.5m~1m 宽的聚酯玻纤网或抗裂贴;
- d) 摊铺泡沫沥青冷再生混合料之前,应安排人员(或清扫车)清扫路槽。

7.2.5 生产配合比

按照 6.3 的规定进行生产配合比设计。

7.2.6 试验路段

在正式铺筑泡沫沥青冷再生混合料之前，应先拟定试验路段铺筑方案，并铺筑试验路段。试验路段应位于施工路段之内，长度应根据试验目的确定，宜选在主线上铺筑 200m~400m。

通过试验路段应确定以下内容：

- a) 验证现场材料的级配和泡沫沥青冷再生混合料的生产配合比；
- b) 热沥青的实际生产温度；
- c) 沥青的发泡性能；
- d) 泡沫沥青冷再生混合料的最大干密度、最佳含水量和最佳用水量；
- e) 摊铺的厚度与速度，以及再生层的松铺系数；
- f) 不同压实组合下的压实度和每一碾压作业的合适长度。
- g) 泡沫沥青冷再生混合料的性能指标；
- h) 检验各种施工机械的效率及组合方式是否匹配；
- i) 泡沫沥青冷再生层的养生条件及成型情况；
- j) 标准施工方。

铺筑结束后，施工单位应就各项试验内容提出完整的试验路施工、检测报告，报监理单位批准。

7.2.7 拌制

泡沫沥青厂拌冷再生拌制过程中，应满足以下要求：

- a) 如果厂拌再生设备自有料仓数量有限，应考虑额外增加料仓或按照生产配合比设计比例将材料混和均匀后，再将其混合物装载到再生机料仓；
- b) RAP、新集料与水泥按比例配制完成后输送至强制拌合锅内，然后喷入水，经过 5s~10s 搅拌后，喷入泡沫沥青，最后搅拌 10s~20s；
- c) 应经常观测冷再生混合料拌和状况，及时调整喷水量，同时观察混合料是否均匀，一旦发现沥青出现条状或结团现象，应立即停止生产；
- d) 拌制好的泡沫沥青冷再生混合料如采用输料皮带直接出料，应采取措施防止粗细集料离析；
- e) 冷再生混合料取样应符合现行试验规程的要求，从冷再生混合料运料车上取样时应设置取样台分几处采集 30cm~50cm 以下的样品；
- f) 每个工作班结束时应打印出一个工作班材料用量和冷再生混合料拌和量的统计量，计算沥青、水泥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。如果不符以上要求时，应对设定值适当调整；
- g) 冷再生混合料拌和完成后，应当在 45min 内运输至现场进行摊铺和压实。

7.2.8 运输

冷再生混合料应采用运料车运输，不得超载运输。运料车的运力应稍有富余，车厢内壁应在装料前进行喷水湿润。运料车应用油毡布覆盖，防止运输材料时水分蒸发或遭雨淋。施工过程中摊铺机前方应有至少 2 辆运料车等候。

7.2.9 摊铺

泡沫沥青厂拌冷再生混合料摊铺过程中，应满足以下要求：

- a) 泡沫沥青冷再生混合料摊铺应保证足够的厚度，碾压成型后每层的摊铺厚度宜不小于 10cm；
- b) 摊铺机应缓慢、均匀、连续不间断的摊铺，中途不得随意变换速度或停顿，摊铺速度宜控制在 2m/min~5m/min 的范围内，以防混合料离析。当发现混合料出现明显的离析、波浪、裂缝、拖痕时，应分析原因，予以消除；

- c) 冷再生混合料的摊铺松铺系数应根据试验路段结果确定。摊铺过程中应随时检查摊铺层厚度及路拱、横坡；
- d) 摊铺过程中的轻微缺陷宜由人工局部找补，严重缺陷应整层铲除更换混合料。

7.2.10 碾压

泡沫沥青厂拌冷再生混合料碾压过程中，应满足以下要求：

- a) 冷再生混合料摊铺后应及时压实，其单层压实最大厚度不宜大于 25cm；
- b) 直线和不设超高的平曲线段，由两侧路肩向路中心碾压；设超高的平曲线段，由内侧路肩向外侧路肩进行碾压。碾压时应重叠 1/3 轮宽，后轮压完路面全宽时即为 1 遍；
- c) 压实流程宜为：双钢轮压路机静压—单钢轮压路机高幅低频强振压实—双钢轮压路机高频低幅弱振压实—视表面干燥情形决定是否洒水—轮胎压路机压实；
- d) 钢轮压路机的工作速度不得超过 3km/h；轮胎压路机速度不得超过 4km/h。

7.2.11 接缝

摊铺泡沫沥青冷再生混合料时，有时会产生工作缝，包括纵向接缝和横向接缝，都应采用垂直的平接缝。所有接缝处均要往完全压实的路段一侧去除部分材料。纵向接缝至少去除 20cm，横向接缝至少去除 10cm。

7.2.12 养生

泡沫沥青冷再生层在加铺上层结构前应进行自然养生，以保持再生层处于接近干燥的状态，养生结束后及时加铺封层，具体要求如下：

- a) 日最低气温在 20℃ 以上，再生层在完成压实至少 1d 后方可进行边通车边自然风干养生；
- b) 日最低气温在 20℃ 以下或再生层完成压实后遭雨淋时，应在封闭交通的情况下，进行自然风干养生；
- c) 当满足以下两个条件之一时，可以结束养生：
 - 1) 再生层可以取出完整的芯样；
 - 2) 再生层的含水率低于 2.0%。

7.2.13 开放交通

泡沫沥青冷再生层碾压完毕后，应满足以下条件后方可开放交通。

- a) 最低气温在 20℃ 以上，再生层在完成压实至少 1d 后，在不加铺封层的情况下可开放交通，但应限制重载车辆通行，并严禁车辆在再生层上掉头和应急刹车，开放交通时间不宜超过 30d；
- b) 日最低气温在 20℃ 以下或再生层完成压实后遭雨淋时，不宜开放交通；
- c) 当满足结束养生条件，并加铺封层后，可开放交通，但应限制重载车辆通行，并严禁车辆在再生层上掉头和应急刹车，开放交通时间不宜超过 30d。

7.3 就地冷再生施工

7.3.1 施工流程图

就地冷再生施工流程如图 4 所示。

7.3.2 施工准备

施工准备应包括以下内容：

- a) 制定施工组织设计,包括原路面铣刨拌和段落的划分计划、显示纵缝处重叠量的典型施工计划、新集料的料源地点、采备方式、运输形式、堆放场地和储备计划、沥青加热和保温方式,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、环保措施以及相应的应急预案等内容。
- b) 配备齐全的施工机械和配件,应对就地冷再生机、平地机、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。做好开工前的保养和维护,并尽量避免在施工期间发生有碍施工进度和质量的故障,应配备以下主要施工机械:
 - 1) 可生产泡沫沥青的专用就地冷再生设备,最小功率不小于 300KW(400 马力),以确保足够的拌和能力。再生机铣刨转子宽度至少为 2m,转速可调,并应具有水平控制系统,保证在连续施工过程中实际铣刨深度和要求的深度误差不超过 10mm;沥青的发泡喷嘴应能够自清洗,并应配有检测和试验喷嘴,以随时检查沥青的发泡效果。
 - 2) 20t 以上沥青加热保温罐车。
 - 3) 水泥稀浆车或水泥自动撒布车(有条件时)。
 - 4) 25t 以上轮胎压路机 1 台~2 台, 8t~13.5t 双钢轮压路机 1 台~2 台, 15t~25t 单钢轮压路机(带强弱振动调整) 1 台~2 台。
 - 5) 整平设备(通常为平地机)。
 - 6) 水车若干辆。

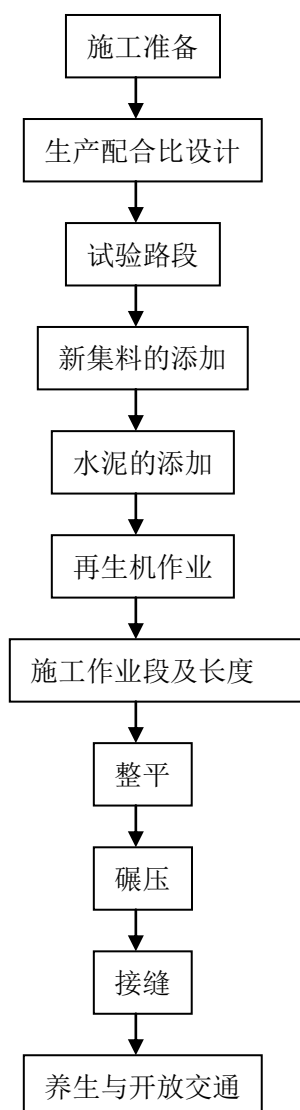


图4 就地冷再生施工流程图

c) 就地冷再生施工前，应对原路面进行详细的病害调查，并满足以下要求：

- 1) 对于泡沫沥青冷再生铣刨不能处理的病害，或考虑到路面仅再生施工其强度等尚不能满足设计要求的区域应进行病害处理或补强处理。可先根据再生铣刨深度，对原路面进行铣刨，然后铣刨或挖除下部结构层，换填材料，压实至已铣刨面的基础面齐平，再将铣刨的旧路面材料回铺至换填材料上，最后与其他路段一并进行泡沫沥青就地冷再生。
- 2) 就地冷再生施工之前应对路表面进行清扫，保持路表层表面干净、平整。如果再生层表面不规则，应采取适当的整型方式，以达到线形要求，并保证最终压实后再生层的厚度满足要求。

7.3.3 生产配合比设计

按照 6.3 的规定进行生产配合比设计。

7.3.4 试验路段

在正式铺筑泡沫沥青冷再生混合料之前，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，宜选在主线上铺筑 200m~400m。

通过试验路段应确定以下内容：

- a) 验证现场材料的级配和验证泡沫沥青冷再生混合料的生产配合比；
- b) 热沥青的实际生产温度；
- c) 沥青的发泡性能；
- d) 泡沫沥青冷再生混合料的最大干密度、最佳含水量和最佳用水量；
- e) 再生机的铣刨深度和速度，以及再生层的松铺系数（对于轮胎式或未配置熨平装置的再生机，其松铺系数指的是未经轮胎碾压区域的松铺系数）；
- f) 每个再生作业段的合适长度；
- g) 不同压实组合下的压实度和每一碾压作业的合适长度；
- h) 泡沫沥青冷再生混合料的性能指标；
- i) 检验各种施工机械的效率及组合方式是否匹配；
- j) 泡沫沥青冷再生层的养生条件及成型情；。
- k) 标准施工方法。

铺筑结束后，施工单位应就各项试验内容提出完整的试验路施工、检测报告，报监理单位批准。

7.3.5 新集料的添加

新集料应保持干燥。添加两种及以上不同规格的新集料时，应将需要添加的集料按照比例事先拌和均匀，并使用摊铺机进行摊铺；人工摊铺时，应事先在旧路面上打格，计算单位面积新集料的添加量。打格宜按照每 100m²~300m² 的面积进行总量控制，撒布应厚度均匀。

7.3.6 水泥的添加

可采用水泥稀浆车、水泥撒布机或人工撒布的方法添加水泥，具体要求如下：

- a) 采用水泥稀浆车时，应根据生产配合比设计值在水泥稀浆车上进行设定，水泥和水的比例通过电脑进行实时控制，水泥和水混合均匀后输送至再生机铣刨搅拌室内进行喷洒。
- b) 采用水泥撒布机撒布时，水泥的用量应比生产配合比设计值高 5%。根据水泥的实际用量和撒布机出料速度，经过计算获得撒布机的行驶速度标准值。水泥撒布施工时，撒布机的实际行驶速度不应超过行驶速度标准值的±10%。水泥撒布一旦完成，除了再生机（包括附属设备）以外其它车辆一律不得进入施工区域。
- c) 采用人工撒布时，应要求工人佩戴防尘器具，水泥的实际用量应比生产配合比设计值高 10%。根据水泥的实际用量，通过计算得出每袋水泥重量所占的面积。撒布水泥时应均匀，同时注意提醒工人降低扬尘。水泥撒布一旦完成，除了再生机（包括附属设备）以外其它车辆一律不得进入施工区域。

7.3.7 再生机作业

就地再生机作业时，应满足以下要求：

- a) 为了获取质量稳定的 RAP，应在大规模铣刨前，按照附录 G 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范围（±1.5m），再生机工作速度范围一般控制在 3m/min~10m/min。
- b) 在直线和不设超高的平曲线段，再生机应首先沿着路幅的外侧开始，然后逐渐向路幅内侧施工；设超高的平曲线段，再生机应首先沿着路幅的内侧开始，然后逐渐向路幅外侧施工。
- c) 应考虑在再生路面上设置再生机的方向引导措施，保证再生机沿着正确的方向前进。

- d) 应至少每隔 200m 检测和记录再生机的工作速度，以确保再生机保持一定的生产效率和良好的再生效果。
- e) 安排经验丰富的施工人员在再生机后连续观测拌和材料是否均匀，一旦发现沥青出现条状或结团现象，应立即停止施工。
- f) 铣刨前对原路面应进行必要的清洗，保证 RAP 材料洁净。不得混入其它结构层材料和杂物，并且在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。
- g) 宜选用同一型号的再生机，应保持恒定的铣刨速度，且铣刨刀头完整，不得缺失。

7.3.8 施工作业段及长度

就地再生机通常会分段作业，此时应满足以下要求：

- a) 冷再生施工的作业段内，为避免产生夹层，宜一次性整平、压实；
- b) 应根据再生施工的效率，以及添加水泥等活性填料的初凝时间确定冷再生施工作业段的长度，宜控制在 50m~200m。

7.3.9 整平

静压结束后，用平地机进行整平工作，消除再生机轮迹印，切削深度应由深至浅。在直线和不设超高的平曲线段，平地机应由路肩向路中心刮平；在设超高的平曲线段，平地机应由内侧向外侧刮平。刮平后多余的混合料应予以废弃。

7.3.10 碾压

按照 7.2.10 规定进行碾压。

7.3.11 接缝

就地冷再生机施工作业时，通常会产生工作缝，包括纵向接缝和横向接缝，对于两种接缝的处理应满足以下要求：

- a) 纵向接缝
 - 1) 相邻两个再生幅面应具有一定的搭接宽度。第一个再生作业面的宽度应与铣刨道的宽度一致，所有后续有效再生幅面的纵向搭接宽度不宜小于 15cm。
 - 2) 再生机应准确地沿着预先设置的铣刨指引线前行。若偏差超过 10cm，应立即倒退至开始出现偏差的地方，然后沿着正确的铣刨指引线重新施工（无需再加水或者稳定剂）。再生机上每个水和沥青的喷嘴均有一定的有效喷洒宽度，当搭接宽度超过 1 个喷嘴的有效喷洒宽度时，后续施工应根据搭接宽度关闭若干个喷嘴，以保证重叠区域没有多余的水和沥青。
- b) 横向接缝
 - 1) 当一个工作日结束、两个相连作业段连接、再生途中更换罐车或其他情况造成的停机均会形成横向接缝，重新作业开始前整个再生机组应后退至已再生路段至少 1.5m 的距离，以保证接缝宽度上的材料得到处理。
 - 2) 对于超过水泥等活性填料初凝时间的段落，在接缝处应重新撒布水泥，但不用撒布石屑、碎石以及喷洒泡沫沥青。

7.3.12 养生

按照 7.2.12 规定进行养生。

7.3.13 开放交通

按照7.2.13规定开放交通。

8 施工质量管理与检查

8.1 一般规定

8.1.1 质量管理包括所用关键设备的检查和标定，所用材料的标准试验、试验段检测、施工过程中的质量管理和检查验收（工序间）。

8.1.2 应加强对再生设备的监管，再生设备操作人员应经过专业的培训，熟悉设备的生产流程 and 操作方法。

8.1.3 建立工地试验、质量检查及工序间的交接验收等制度，试验、检验应做到原始记录齐全，数据真实可靠。

8.1.4 各个工序完结后，均应进行检查验收。经检验合格后，方可进入下一个工序。经检验不合格的段落，应进行返工或补救，使其达到要求。

8.2 再生设备的管理与检查

施工过程中应按照表 11 的要求对再生设备进行检查，一旦出现问题应立即向项目技术人员汇报，进行相应处理。

表11 再生设备的检查项目与频度

检查项目		检查要求	检查频率	检查方法
就地再生设备	铣刨鼓与铣刨刀头	检查铣刨鼓和铣刨刀头的磨损情况	每个工作面施工前	目测
	喷洒系统	检查沥青、水喷洒系统是否存在堵塞	每个工作面施工前	试喷和辅助相关仪表
	铣刨速度	检测机器铣刨速度是否满足要求的铣刨速度范围	随时	秒表和卷尺
	铣刨深度	检测机器铣刨深度与实际铣刨深度是否一致	每 30m~50m	直尺等
厂拌再生设备	喷洒系统	检查沥青、水喷洒系统是否正常，是否存在堵塞现象	每天施工前或必要时	试喷和辅助相关仪表
	配料系统	检查各料仓的配料比例是否正确	随时	机器上的仪表或辅助仪表
	机器的生产率	检查机器的生产率是否在规定的范围	随时	机器上的显示器

“随时”是指需要经常检查的项目，其检查频度可根据材料来源及质量波动情况由业主及监理确定；“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。

8.3 原材料的质量管理与检查

RAP 料质量性能指标及检查频度应符合表 12 的要求，新添加材料质量性能指标及检查频度应符合表 13 的要求。

表12 RAP 料质量检查的项目与频度

材料名称	检查项目	检查要求	检查频度	检查方法
RAP (厂拌)	含水率	材料的湿度状况, 确定添加的水量	当路面结构、天气等变化, 以及再生混合料含水量需要调整时, 每 5000m ² 测 2 个样品	附录 B
	级配	级配的变化情况	当路面结构、铣刨深度、铣刨速度变化时, 每 5000m ² 测 2 个样品	
	沥青含量	旧沥青含量变化情况, 并为检验新沥青用量提供依据	每 12000m ² 测 2 个样品	
	4.75mm 以下部分砂当量	评定材料质量	施工前和必要时, 测 2 个样品	
	超粒径颗粒 (大于 31.5mm) 含量	评定材料质量	每 1000t 测 2 个样品	T0312
	0.075mm 通过率变异性	评定材料质量	每 1000t 测 2 个样品	T0301 或 T0327
	4.75mm 通过率变异性	评定材料质量	每 1000t 测 2 个样品	T0301 或 T0327
RAP (就地)	级配	级配的变化情况	当路面结构、铣刨深度、铣刨速度变化时, 每 5000m ² 测 2 个样品	附录 B
	沥青含量	旧沥青含量变化情况, 并为检验新沥青用量提供依据	每 12000m ² 测 2 个样品	
	4.75mm 以下部分砂当量	评定材料质量	每 12000m ² 测 2 个样品	
RAP中沥青	针入度 (25℃, 5s, 100g)	分析 RAP 品质变化情况	必要时 ^a , 测 2 个样品	T0604
	软化点 (R&B)	分析 RAP 品质变化情况	必要时, 测 2 个样品	T0606
	延度 (15℃)	分析 RAP 品质变化情况	必要时, 测 2 个样品	T0605
RAP中粗集料	针片状颗粒含量	评定材料质量	施工前和必要时, 测 2 个样品	T0312
	压碎值	评定材料质量	施工前和必要时, 测 2 个样品	T0316
	与沥青的粘附性	评定材料质量	施工前和必要时, 测 2 个样品	T0616
RAP 中细集料	棱角性	分析 RAP 品质变化情况	必要时, 测 2 个样品	T0345
	2.36mm 以下砂当量	评定材料质量	施工前和必要时, 测 2 个样品	T0334
^a “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13 新添加材料质量检查的项目与频度

材料名称	检查项目	检查要求	检查频度	检查方法
粗集料	级配	确定级配是否符合要求	每 5000m ² 测 2 个样品	T0302
	表观相对密度	评定材料质量	每 12000m ² 测 2 个样品	T0304
	压碎值	评定材料质量	施工前和必要时 ^a ，测 2 个样品	T0316
	吸水率	评定材料质量	每 12000m ² 测 2 个样品	T0304
	针片状颗粒含量	评定材料质量	施工前和必要时，测 2 个样品	T0312
	与沥青的黏附性	评定材料质量	每 12000m ² 测 2 个样品	T0616
	软石含量	评定材料质量	必要时，测 2 个样品	T0320
细集料	级配	确定级配是否符合要求	每 5000m ² 测 2 个样品	T0327
	表观相对密度	评定材料质量	每 12000m ² 测 2 个样品	T0328
	坚固性 (>0.3mm 部分)	评定材料质量	必要时，测 2 个样品	T0340
	含泥量， 小于 0.075mm 的含量	评定材料质量	施工前或必要时，测 2 个样品	T0333
	砂当量	评定材料质量	必要时，测 2 个样品	T0334
	亚甲蓝值	评定材料质量	必要时，测 2 个样品	T0346
	含水率	含水率是否符合要求，同时 确定添加的水量	当天气等变化和再生混合料含水量 需要调整时，每 5000m ² 测 2 个样品	T0332
	棱角性（流动时间）	评定材料质量	必要时，测 2 个样品	T0345
沥青	针入度	评定沥青质量	每 8000m ² 测 2 个样品	T0604
	软化点	评定沥青质量	每 8000m ² 测 2 个样品	T0606
	延度	评定沥青质量	每 8000m ² 测 2 个样品	T0605
	温度	检验沥青温度是否符合 设计要求	随时 ^b	再生机上温 度计读数
	发泡效果 (膨胀率和半衰期)	检验沥青发泡效果是否 符合设计要求	每 8000m ² 测试 3 次	再生机上的 测试喷嘴、钢 桶、量尺、秒 表等
水泥	水泥强度、凝结时间	确定水泥的质量是否 适宜使用	施工前和必要时，测 2 个样品	水泥胶砂强 度检验方法， 水泥凝结时 间检验方法
^a “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。 ^b “随时”是指需要经常检查的项目，其检查频度可根据材料来源及质量波动情况由业主及监理确定。				

8.4 再生混合料的质量管理与检查

8.4.1 从就地再生机后或厂拌再生出料皮带连续观测再生材料的质量和均匀性，一旦发现沥青结团或混合料离析等现象，应立即停止生产进行检查。

8.4.2 检查就地再生机驾驶室控制面板或厂拌再生设备控制室操作面板各项参数的设定值，核对计算机采集和打印记录的数据与显示值是否一致。

8.4.3 再生混合料质量检查的项目和频度应按照表 14 的规定进行，并如实计算产品的合格率。单点检验评定方法应符合相关试验规程的试样平行试验要求。

表14 再生混合料质量检查的项目与频度

检查项目		质量要求与允许偏差	检查频度及单点检验评价方法	检查方法
混合料外观		观察集料是否存在明显离析情况、泡沫沥青分散情况，有无沥青结团或沥青丝现象	随时 ^a	目测
矿料级配 (筛孔)		在满足设计级配范围的同时， 0.075mm: ±3%; 4.75mm: ±6%; 26.5mm: ±7%;	每 5000m ² 或 1500 吨以 2 个试样的平均值评定	T0725 检验后与标准级配的差
含水率		+1%, -2%	每 5000m ² 或每 800 吨测 2 个样品的平均值评定	T0305
沥青用量 (油石比)		±0.3%	每 5000m ² 或每 1500 吨测 2 个样品的平均值评定	燃烧法或抽提法
水泥用量		±0.3%	每 10000m ² 或每 3000 吨测 2 个样品的平均值评定	总量控制或 EDTA 滴定法
马歇尔试验	稳定度 (KN) (60℃)	符合设计要求	每天 1~2 次，宜 4~6 个试件的平均值评定	T0709
	流值 (mm)	符合设计要求		
劈裂试验	劈裂强度 ITS (MPa) (25℃)	符合设计要求	每天 1~2 次，宜 4~6 个试件的平均值评定	附录 E
	干湿劈裂强度比 ITSR (%)	符合设计要求	每天 1~2 次，宜 4~6 个试件的平均值评定	附录 E
无侧限抗压强度 UCS (MPa) (20℃)		符合设计要求	每 3 天 1 次，宜 6~10 个试件的代表值评定	附录 F
冻融劈裂强度比 TSR (%)		符合设计要求	每 3 天 1 次，宜 4~6 个试件的平均值评定	T0729
车辙试验	动稳定度 DS (次/mm) (60℃)	符合设计要求	开工前和必要时 ^b ，测 3 个样品的平均值评定	附录 G
^a “随时”是指需要经常检查的项目，其检查频度可根据材料来源及质量波动情况由业主及监理确定； ^b “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。				

8.5 再生层的质量管理与检查

8.5.1 泡沫沥青冷再生层在碾压和摊铺过程中应随时对施工质量进行检查，质量检查的内容、频度、允许偏差应符合表 15 的规定。

8.5.2 应对泡沫沥青冷再生层钻芯取样检验其成型情况和完整性，芯样高度应不小于设计厚度的 85%。

表15 泡沫沥青再生层的质量控制标准

检查项目		质量要求与允许偏差		检查频度及单点检验评价方法	检查方法
		高速公路和一级公路	其他等级公路		
外观		表面平整密实，不得有明显轮迹、裂缝、推挤等缺陷，且无明显的离析		随时	目测
接缝		紧密平整、顺直		随时	目测
压实度 (%)	代表值	98	97	每 200m 每车道 1 处	灌砂法
	极值	94	93		
厚度 (mm)	均值	-8	-10	每 1500 m ² ~2000m ² 测 6 个点	施工时插入法量测松铺厚度及挖验法量测压实厚度
	单点值	-10	-20		
宽度 (mm)	有侧石	±20		检测每个断面	T0911
	无侧石	不小于设计宽度		检测每个断面	T0911
纵断高程 (mm)	下面层	+5, -10	+5, -15	检测每个断面	T0911
	基层	±10	±15		T0911
横坡度 (%)	下面层	±0.3	±0.4	检测每个断面	T0911
	基层	±0.4	±0.5	检测每个断面	T0911
平整度 (mm)	下面层	6	8	每 200m 每车道 2 处，每处连续 10 尺	T0931
	基层	8	12		T0931

9 工程质量的检验评定

9.1 基本要求

9.1.1 再生混合料的材料级配应符合设计要求和本规范的规定，沥青用量和活性填料用量应控制准确。

9.1.2 严格控制沥青的发泡温度，膨胀率和半衰期及混合料的各项性能指标应符合设计和规范要求。再生混合料生产时，每日应做马歇尔稳定度试验和劈裂强度试验。

9.1.3 拌和后的再生混合料应均匀一致，无粗细料分离和沥青结团或成丝现象。

9.1.4 再生层表面应碾压密实，表面干燥、清洁、无浮土，平整度和路拱度应符合要求。

9.1.5 泡沫沥青冷再生路面工程的检验评定应符合 JTG F80/1 中路面工程质量检验评定的有关规定。

9.2 实测项目

泡沫沥青冷再生层实测项目见表 16。

表16 泡沫沥青再生层实测项目

检查项目		规定值或允许偏差		检查方法和频度
		高速公路和一级公路	其他等级公路	
压实度 (%)	代表值	98	97	灌砂法：每 200m 每车道 1 处
	极值	94	93	

表 16 泡沫沥青再生层实测项目（续）

检查项目		规定值或允许偏差		检查方法和频度
		高速公路和一级公路	其他等级公路	
平整度 (mm)	下面层	6	8	3m 直尺：每 200m 测 2 处×10 尺
	基层	8	12	
纵断高程 (mm)	下面层	+5, -10	+5, -15	水准仪：每 200m 测 4 个断面
	基层	±10	±15	
宽度 (mm)	有侧石	±20		尺量：每 200m 测 4 处
	无侧石	不小于设计宽度		
厚度 (mm)	代表值	设计值的-5%	设计值的-8%	每 200m 每车道 1 点
	合格值	设计值的-10	设计值的-15	
横坡 (%)	下面层	±0.3	±0.4	水准仪：每 200m 测 4 个断面
	基层	±0.4	±0.5	
强度（MPa）及强度比		符合设计要求		按附录 E

9.3 外观质量

泡沫沥青再生层的外观质量应符合下列规定：

- 表面应平整密实、无坑洼、无明显离析。
- 施工接缝应平整、稳定。

附 录 A
(规范性附录)
沥青发泡性能试验方法

A.1 一般规定

A.1.1 应采用专用的沥青室内发泡设备,进行沥青发泡性能试验。

A.1.2 沥青发泡试验宜在常温($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$)条件进行试验。

A.1.3 发泡试验用过的沥青,不应再重新进行发泡试验。

A.1.4 所有试验用的计量仪器设备应有资格的计量检定单位检定,并在有效期内。

A.2 试验设备

A.2.1 沥青发泡试验机

室内试验应使用专门的沥青发泡试验机,目前通常使用维特根 WLB10 S 或 WLB10 型沥青发泡试验机,如图 A.1 所示。沥青发泡试验机应满足以下基本要求:

- a) 配有不低于 20L 容量的沥青罐,可根据设定的沥青温度通过泵送循环系统对沥青进行加热和保温,沥青保温过程中每 5min 温度变化不超过 5°C ;
- b) 发泡喷嘴喷射泡沫沥青的速率约 100g/s ;
- c) 试验温度变化时应能对沥青喷射时间进行标定,以保证沥青喷射量在 500g;
- d) 应能在一定的气压(通常为 4bar)与水压(通常为 5bar)条件下,根据沥青流量对用水量进行标定。



图A.1 WLB 10S 及 WLB 10 试验室用沥青发泡设备

A.2.2 钢桶、量尺与秒表

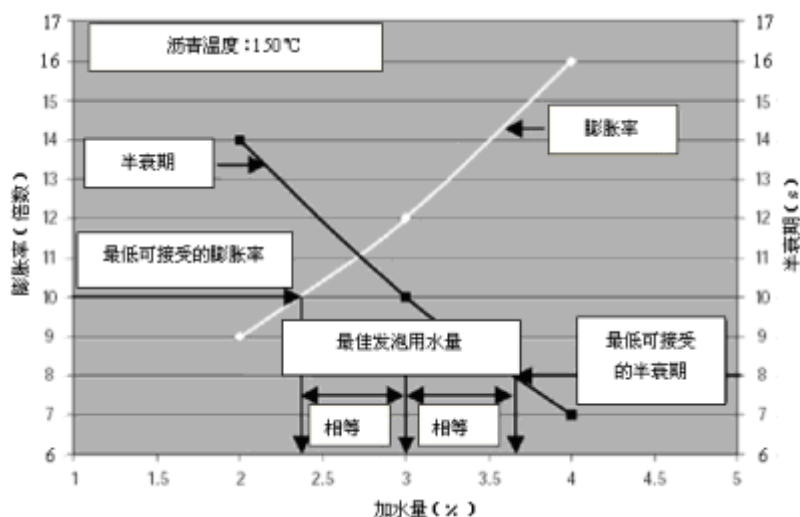
钢筒、量尺与秒表应分别满足以下要求:

- a) 接收泡沫沥青的钢桶直径为 275mm,容积为 20L;

- b) 使用随沥青发泡试验机附带的量尺，或使用精度高于该量尺的其它量具；
- c) 秒表精度不低于 0.1s。

A. 2.3 试验步骤

- a) 通过沥青泵送循环系统，将沥青加热至需要的温度（宜在 145℃至 155℃之间），并在开始试验前至少维持 5min；
- b) 标定沥青的喷射流量，并设置计时器，使每次沥青的喷射量为 500g；
- c) 设定水流量控制计，达到需要的发泡用水量（宜为沥青质量的 1.0%）；
- d) 将泡沫沥青喷射至钢桶里，并在喷射结束后，沥青体积膨胀达到最大的瞬间按下秒表，开始记录时间；
- e) 使用量尺（与 275mm 直径钢桶和 500g 沥青标定过）测量桶内泡沫沥青的最大高度，并作为泡沫沥青的膨胀率；
- f) 使用秒表测量泡沫衰落至最大体积一半所持续的时间（精确到 0.1s），并作为泡沫沥青的半衰期；
- g) 重复三次，取膨胀率和半衰期的平均值；
- h) 以上述发泡用水量为起始值，以 1.0%为间隔，至少选择 3 个发泡用水量，重复以上步骤 3~7，进行发泡性能试验；
- i) 在相同的坐标轴下绘制不同用水量下膨胀率与半衰期的关系图，如图 A.2 所示，并按照图 A.2 所示的方法确定该温度下的最佳发泡用水量；
- j) 以上述沥青发泡温度为起始温度，以 10℃为间隔，至少选择一个沥青温度，重复以上步骤 1~9，进行发泡性能试验；
- k) 比较不同发泡温度下，最佳发泡用水量对应的膨胀率及半衰期，选择膨胀率与半衰期相加数值最大的发泡温度，作为最佳发泡温度；对于数值相等的，取发泡温度较高的作为最佳发泡温度。最佳发泡条件即为此温度以及此温度对应的最佳发泡用水量。



图A.2 确定最佳发泡用水量的方法

附 录 B
(规范性附录)
探坑调查与回收沥青路面材料 (RAP) 取样试验分析

B.1 一般规定

- B.1.1 探坑调查与回收沥青路面材料 (RAP) 取样适用于泡沫沥青冷再生工程的前期调查和回收沥青路面材料 (RAP) 的获取。
- B.1.2 按照交通荷载、老路结构、病害类型、结构强度和维修记录等, 将老路划分若干个子路段, 每个子路段长度不宜大于5000m, 且不宜小于500m, 或每个子路段面积不大于50000m², 且不宜小于5000m²。
- B.1.3 探坑选择在子路段具有代表性的行车道位置。

B.2 探坑调查

- B.2.1 当采用就地冷再生时, 对路面开挖应采用就地再生设备 (没有条件时, 可使用铣刨机) 进行, 以不同的铣刨深度分别铣刨; 当采用厂拌冷再生时, 可以选用铣刨设备, 以不同的铣刨深度依次进行铣刨。
- B.2.2 先使用取芯机对探坑位置钻取1~2个芯样, 确定原沥青路面各结构层的厚度和总厚度。
- B.2.3 根据原沥青面层的历史信息、原沥青路面各结构层的厚度和总厚度确定每次的铣刨深度, 分次铣刨的界面宜在不同结构层分层的位置。
- B.2.4 对于每种不同铣刨深度, 必须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。
- B.2.5 通过对开挖探坑的调查, 完成探坑分析表, 探坑分析表见表B.1。

表B.1 探坑分析表

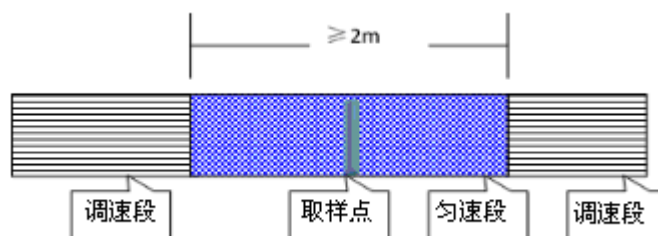
探坑位置	产生的主要病害	铣刨次数	深度 (cm)	材料	湿度状况	结构状况	下承层回弹模量 (MPa)

B.3 RAP取样

B.3.1 探坑取样

当从探坑进行取样, 用于方案设计的目标配合比设计时, 应满足以下要求:

- a) 在进行探坑调查的同时对 RAP 进行取样。就地再生时，按预定设计再生深度将路面结构层一次性破碎；厂拌再生时，按预定的铣刨深度将路面结构层一次性破碎。
- 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，取样示意图见图 B.1。



图B.1 现场铣刨取样示意图

B.3.2 施工阶段取样

在施工阶段对 RAP 进行取样，用于原材料质量检查和生产配合比设计时，应满足以下要求：

- a) 厂拌再生时，应从拌合场 RAP 料堆进行取样，取样前应去除表面 15cm~25cm 深度范围内的部分，取样方法参照 JTG E42 粗集料料堆取样方法。
- b) 就地再生时，应在施工前将道路预留出 4m~6m 范围内不得摊铺新集料和水泥，再生机不得喷洒泡沫沥青，按预定设计再生深度将路面结构层一次性破碎，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。取样结束后，再在预留路段摊铺新集料和水泥，再生机喷洒泡沫沥青。

B.3.3 根据试验需要，取得足够数量的RAP。

B.3.4 试样缩分按以下两种方法：

- 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，在自然状态下拌合均匀，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，直至缩分所需的数量。

B.4 RAP试验分析

B.4.1 含水率

根据烘干前后回收沥青路面材料（RAP）质量的变化，计算回收沥青路面材料（RAP）的含水率。试验方法参照 JTG E42 中 T0305，烘箱加热温度调整为 60℃恒温。

B.4.2 回收沥青路面材料（RAP）级配

对回收沥青路面材料（RAP）进行筛分试验，确定对回收沥青路面材料（RAP）的级配。试验方法参照 JTG E42 中 T0327，材料加热温度调整为 60℃恒温，采用干筛法。

B.4.3 砂当量

用 4.75mm 筛筛除 RAP 中的粗颗粒，进行砂当量指标检测。试验方法按照 JTG E42 中 T0334。

B.4.4 RAP的沥青含量和性质

B.4.4.1 按照JTG E20中T0726（阿布森法）从沥青混合料中回收沥青。如果采用其他方法，需要进行重复性和重现性试验，并进行空白沥青标定。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。

B.4.4.2 按照JTG E20中T0726的方法检测沥青含量，并对回收沥青按照JTG E20中T0604方法检测25℃针入度，按照JTG E20中T0621的方法检测60℃粘度，按照JTG E20中T0606的方法检测软化点和按照JTG E20中T0605的方法检测15℃延度。

B.4.4.3 具有下列情形之一的，应进行空白沥青标定：更换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。

B.4.4.4 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 $\leq 2.5^{\circ}\text{C}$ ，复现性试验的允许误差为：针入度 ≤ 10 (0.1mm)、黏度 $\leq$ 平均值的15%、软化点 $\leq 5.0^{\circ}\text{C}$ ，如果超出允许范围，则应弃置回收沥青，重新标定、回收。

B.4.5 PAP的矿料级配和集料性质

B.4.5.1 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法试验，确定RAP的旧矿料级配。RAP的沥青含量与级配也可以用燃烧法确定。若集料在燃烧过程中由于高温导致破碎，则不宜采用该法。

B.4.5.2 RAP中集料的性质，按照相关的部颁规范、规程进行检测。

附 录 C

(规范性附录)

泡沫沥青冷再生混合料单轴压缩动态模量试验方法

按照 JTG E20 中 T0738 规定的方法进行泡沫沥青冷再生混合料单轴压缩动态模量试验,其中试件成型宜在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 条件下进行,加载频率采用 5Hz。试件养生方法为:将每个试件脱模后,在室温下静置 24h,然后置于 $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的通风烘箱中,进一步养生 48h。48h 养生结束后,将试件从烘箱中取出,并置于恒温 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 空气浴中至少 6h。

附 录 D

(规范性附录)

泡沫沥青冷再生混合料的拌和与成型试验方法

D.1 一般规定

D.1.1 按附录A规定确定沥青的最佳发泡条件后,并且其技术指标满足要求时,方可进行泡沫沥青冷再生混合料的拌和。

D.1.2 拌和与试件成型宜在常温(25℃±2℃)条件下进行。

D.1.3 每次配制的材料数量应当符合拌和锅的容积要求。

D.1.4 可参照本方法,对现场施工过程中泡沫沥青冷再生混合料成型马歇尔试件。

D.1.5 本方法成型的马歇尔试件,可用于马歇尔稳定度试验及劈裂强度试验。

D.2 材料的拌和

a) 确定每拌材料的用量。

b) 按式(D.1)确定试样的干质量。

$$M_{sample} = M_{air-dry} / (1 + (W_{air-dry} / 100)) \dots\dots\dots (D.1)$$

式中: M_{sample} —试样的干质量(g);

$M_{air-dry}$ —试样的风干质量(g);

$W_{air-dry}$ —风干试样的含水率(%)。

c) 按式(D.2)确定水泥的用量。

$$M_{cement} = (C_{add} / 100) \times M_{sample} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中: M_{cement} —水泥的用量(g);

C_{add} —水泥的含量(%);

M_{sample} —试样的干质量(g)。

d) 计算确定最佳拌和用水量 W_{OMC} ,然后按式(D.3)确定试样中所需的加水质量。

$$M_{add} = \left(\frac{M_{air}}{1 + 0.01W_{air}} + M_{cement} \right) \times 0.01W_{OMC} - \frac{M_{air}}{1 + 0.01W_{air}} \times 0.01W_{air} \dots\dots (D.3)$$

式中： M_{add} —需要加入试样中的水量（g）；

W_{OMC} —最佳拌和用水量（%）。

- e) 将试样材料、水泥、水在拌和锅内一起拌和至均匀。
- f) 按式（D.4）确定泡沫沥青的用量。

$$M_{bitumen} = (B_{add} / 100) \times (M_{sample} + M_{cement}) \dots\dots\dots (D.4)$$

式中： $M_{bitumen}$ —需要加入的泡沫沥青质量（g）；

B_{add} —泡沫沥青含量（%）。

- g) 按式（D.5）确定试验机上计时器时间的设定。

$$T = factor \times M_{bitumen} / Q_{bitumen} \dots\dots\dots (D.5)$$

式中： T —试验机上计时器设定的时间（s）；

$Q_{bitumen}$ —试验机上的沥青流量（g/s）；

$factor$ —在拌和锅内损失沥青的补偿系数。根据拌和锅的类型，通过试验实测确定补偿系数。例如对于 Hobart 拌和锅，该系数通常取 1.25；对于强制式拌和锅，该系数通常取 1.0。

- h) 将拌和机与发泡设备对接在一起，以便泡沫沥青直接喷入拌和锅中。
- i) 开启拌和机，在向拌和锅内喷射泡沫沥青之前至少拌和 10s，并在喷射泡沫沥青后持续拌和 30 秒。
- j) 将拌制好的泡沫沥青混合料转移至容器内，并立即将容器密封，以防水分损失。为了尽可能减少水分的损失，应立即成型马歇尔试件。

D.3 成型马歇尔试件

D.3.1 清洁试模、套筒、底座和击实锤底面。这些设备不需加热，但应在室温下保存。

D.3.2 称量足够材料，使试件击实高度控制在 $63.5\text{mm} \pm 1.5\text{mm}$ （通常为1150g左右），用插刀沿周边插捣15次，中间10次，使材料表面成凸圆弧面。

D.3.3 用击实锤击实混合料75次，应保证击实锤自由落下。

D.3.4 脱去套筒，将试模反转过来，对另一面同样击实75次。

附 录 E (规范性附录)

泡沫沥青冷再生混合料的劈裂强度试验方法

E.1 一般规定

E.1.1 用于配合比设计时，应测试一组不少于4个试件在干燥状态下的劈裂强度（ITS）和另一组不少于4个试件在浸水条件下的劈裂强度（ITS）值；用于路面结构层底拉应力验算时，应测试一组不少于6个试件在干燥条件下的（ITS）值，并取其平均值作为极限劈裂强度值。通过测量试件的最大破坏荷载以确定（ITS）值。

E.1.2 除本附录规定的试验方法外，其余试验应按照JTG E20 中T0716的方法进行。

E.2 试验方法

E.2.1 应将养生好的试件在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 或 $15^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下放置不少于6h，并且适当去除试件表面的松散颗粒后，再量测每个试件的高度及直径。

E.2.2 在测试干试件劈裂强度之前，应将一组试件置于恒温 $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 或 $15^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 空气浴中至少6h。

E.2.3 在测试湿试件的劈裂强度之前，应将一组试件放入恒温 $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 水浴中浸水24h。

E.2.4 分别计算一组干燥状态下试件（ITS）的平均值和另一组浸水条件下试件（ITS）的平均值，按式（E.1）计算干湿劈裂强度比（ITSR）：

$$ITSR = \frac{ITS_{wet}}{ITS_{dry}} \times 100\% \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：ITSR—干湿劈裂强度比（%）；

ITS_{wet} —湿试件的ITS平均值；

ITS_{dry} —干试件的ITS平均值。

附 录 F (规范性附录)

泡沫沥青冷再生混合料的无侧限抗压强度试验方法

F.1 一般规定

F.1.1 按照JTG E51中T0843规定的方法进行试件成型，试件成型宜在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 条件下进行。

F.1.2 按照JTG E51中T0805规定的方法进行无侧限抗压强度试验，环境温度应在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

F.2 试验方法

F.2.1 试件采用 $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的圆柱体试件。

F.2.2 养生方法为：将每个试件脱模后，在室温下静置24h，然后置于 $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的通风烘箱中，进一步养生48h。48h养生结束后，将试件从烘箱中取出，并置于恒温 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 空气浴中至少6h。

F.2.3 按式(F.1)计算试件的无侧限抗压强度：

$$R_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (F.1)$$

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(mm^2)。

附 录 G
(规范性附录)
泡沫沥青冷再生混合料的车辙试验方法

G.1 一般规定

G.1.1 车辙试件带模在室温下静置24h,然后置于40℃±2℃的通风烘箱中进一步养生48h。养生结束后,将试件从烘箱中取出。

G.1.2 在测试动稳定度之前,应将试件置于恒温60℃±2℃空气浴中至少24h。

G.2 试验方法

G.2.1 按照JTG E20中T0719的规定进行试件成型与试验。

G.2.2 按式(G.1)计算试件的动稳定度:

$$DS = \frac{(t_2 - t_1) \times N}{d_2 - d_1} \times C_1 \times C_2 \dots\dots\dots (G.1)$$

式中: DS —动稳定度(次/mm);

d_1 —对应于时间 t_1 的变形量(mm);

d_2 —对应于时间 t_2 的变形量(mm);

C_1 —试验机类型系数,曲柄连杆驱动加载轮往返运行方式为1.0;

C_2 —试件系数,试验室制备宽300mm的试件为1.0;

N —试验轮往返碾压速度,通常为42次/min。

附 录 H
(规范性附录)
原沥青路面 RAP 回收铣刨机铣刨速度试验

H.1 目的与适用范围

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

H.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。

H.2 试验前准备

H.2.1 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。

H.2.2 测试试验环境温度。

H.2.3 铣刨试验前，应对铣刨路段表面进行清扫。

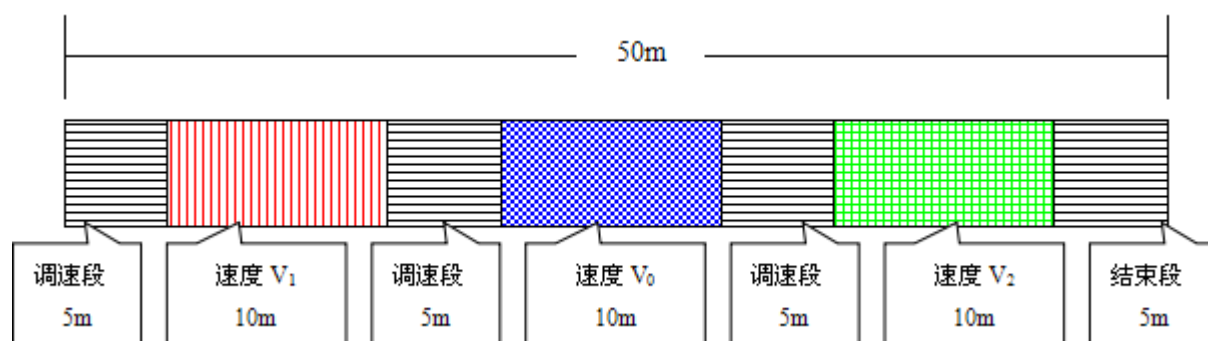
H.2.4 铣刨试验应使用大规模铣刨施工的同一型号的铣刨机（相同功率和铣刨宽度）。

H.3 铣刨试验

H.3.1 根据铣刨深度和铣刨机功率等，结合该机型的铣刨速度经验，确定基准速度 V_0 。

H.3.2 根据基准速度 V_0 ，分别上调和下调铣刨速度2m/min，确定铣刨速度 V_1 (V_0-2 m/min) 和 V_2 (V_0+2 m/min)。

H.3.3 具体铣刨组合方式如图H.1所示。



图H.1 铣刨速度组合试验方案

H.3.4 为了获取具有代表性的RAP料，所有RAP料的取样都禁止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。

H.4 RAP试验方案

H.4.1 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。

H.4.2 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 I
(规范性附录)
某公路泡沫沥青冷再生路面设计实例

I.1 原路面历史信息收集

I.1.1 收集原路面设计、竣工等历史资料

根据对该路段现场调查、测量及查阅相关资料，该路段按照《公路工程技术标准》采用的二级公路标准设计，设计速度为 60Km/h，双向两车道，采用 2%双向路拱横坡，路基宽 12.0m，路面宽度为 2×3.50m 行车道+2×2.0m 硬路肩+2×0.50m 土路肩。具体技术标准见表 I.1。

表I.1 原道路技术标准

长度 (km)	公路等级	路面结构			断面宽度 (m)	
		面层	基层	底基层	路面	路基
12.360	二级	4cmAC-13C 普通沥青混凝土 +6cmAC-20C 普通沥青混凝土	20cm 水泥 稳定碎石	15cm 级 配碎石	11	12

I.1.2 收集原路面运行期间的维修养护详细情况

本项目 2013 年～2015 年期间已经实施路面大中修，具体情况如下：

- a) 2013 年对 K15+000～K16+000 段采用加铺 20cm 水泥稳定碎石基层+下封层+(6cm+4cm) 沥青砼的大中修方案（长度为 1.000Km）；
- b) 2014 年对 K0+000～K1+150、K5+300～K6+800、K8+800～K9+300、K10+700～K11+400、K14+400～K15+000、K20+300～K21+300 段采用罩面 5cm 沥青砼或加铺 20cm 水泥稳定碎石基层+下封层+(6cm+4cm) 沥青砼的大中修方案（长度合计为 5.450Km）；
- c) 2015 年对 K1+150～K3+100、K12+800～K13+800、K16+000～K17+100、K19+000～K19+500 段采用加铺 20cm 水泥稳定碎石基层+下封层+(6cm+4cm) 沥青砼的大中修方案（长度合计为 4.550Km），K21+300～K21+800 段采用加铺 24cm 水泥稳定碎石基层+下封层+(6cm+4cm) 沥青砼的大中修方案（长度为 0.500Km），K23+500～K24+500 段采用加铺 20(24)cm 水泥稳定碎石基层+下封层+(6cm+4cm) 沥青砼的大中修方案（长度为 1.000Km）。

I.2 原路面路况调查

I.2.1 病害调查

对整个路段进行现场勘查。勘查内容包括路面车道组成和宽度、路面损坏状况、修补情况和道路的排水等情况，主要情况如下：

- a) 路面大量的损坏主要表现为横向裂缝、龟裂、唧浆和局部沉陷；
- b) 青面层的细集料剥落现象比较普遍，面层变得十分粗糙，平整度变差，行驶舒适性变差；
- c) 由于各种病害的出现，路面产生局部沉降，道路的几何形状变差，需要修正。

1.2.2 技术状况调查与评价

对原路面技术状况进行调查，包括路面状况指数 PCI、路面强度指数 PSSI、车辙深度、原路面结构厚度及类型和破损状况、国际平整度指数 IRI、路面弯沉等，具体情况如下：

- a) 根据路面强度指数 (PSSI) 评价结果，本项目路面结构强度指标评价以中为主，个别路段评价为次、差；
- b) 根据路面破损状况评价 (PCI) 结果，本项目路面破损较严重，路面破损评价以次、差为主；
- c) 根据路面车辙状况评价 (RDI) 结果，本项目车辙状况评价指标以次、差为主；
- d) 根据路面使用性能评价结果，本项目路面使用性能评价指标以次、差为主，说明本项目路面整体使用性能较差。

根据技术状况调查与评价结果，应对 K3+100～K5+300 段、K6+800～K10+600 段、K11+400～K12+800 段、K13+800～K14+500 段、K17+100～K17+530 段、K19+500～K20+400 段、K21+500～K23+240 段、K24+500～K25+740 段采取大中修补强的处治方案，里程长度合计为 12.360km。

1.2.3 探坑调查和取样

根据原路面历史信息收集和原路面路况调查结果，选择大中修补强处治路段具有代表性的行车道位置进行探坑调查与取样，以进一步了解路面结构的情况，并通过承载板试验，确定路面不同铣刨深度的回弹弯沉，以便进行结构设计；此外，测试坑挖除的材料，还可以用于再生材料的目标配合比设计。同时根据现场勘测评估，选取两处开挖地点：

- a) 第一处开挖桩号为左幅 K3+500，第二处开挖桩号为右幅 K9+600；
- b) 每个测试坑按照宽 3m、长 7m～8m、深 20cm 的标准开挖。每层的材料分开堆放，然后分层取样。从每一层中提取试样用于试验室的测试。
- c) 探坑分析如表 I.2 所示。

表I.2 探坑分析表

铣刨次数	深度（cm）	材料	密实度	湿度状况	结构状况
1	10	沥青	密实	略湿	破损
2	15	水稳基层	密实	略湿	破损
3	20	水稳基层	密实	干燥	完整

- d) 不同深度铣刨完毕后，在下承层顶面进行承载板试验。承载板试验结果见表 I.3。

表I.3 现场承载板法试验结果

桩号	车道	测量位置	回弹模量 (MPa)
K3+500	左幅行车道	路表面下 10cm 承载面	364.1
K3+500	左幅行车道	路表面下 15cm 承载面	323.6
K3+500	左幅行车道	路表面下 15cm 承载面	317.0
K3+500	左幅行车道	路表面下 20cm 承载面	275.4
K9+600	右幅行车道	路表面下 16cm 承载面	568.1
K9+600	右幅行车道	路表面下 16cm 承载面	515.7

1.2.4 交通量与等效车型调查

根据规范，在轴载换算时，小汽车轴载换算可忽略不计。因此在路面维修方案选择和结构计算中，轴载分为六类：大客车、小型货车、中型货车、大型货车、重型货车、拖挂车（集装箱）。近期交通组成、交通量参数见表 I. 4。

表 I. 4 分类车辆的日交通量和等效车型调查

车辆类型	代表车型	前轴重 (KN)	后轴重 (KN)	后轴数	后轴轮组数 (m)	后轴距 (m)	日交通量 (辆/天)
大客车	黄海 DD680	49.0	91.5	1	2	<3	1370
小型货车	北京 BJ130	13.4	27.4	1	2	<3	820
中型货车	东风 EQ140	23.6	69.3	1	2	>3	785
大型货车	黄河 JN150	49.0	101.9	1	2	>3	342
重型货车	黄河 JN263	58.6	114.0	1	2	>3	1678
拖挂车	东风 SP9250	50.7	113.3	3	2	>3	3220

I. 2. 5 标准轴载换算

根据 JTG D50 中的 3.1.2 规定，按式 (I. 1) 对上述交通量进行换算。换算结果见表 I. 5。

$$N_1 = \sum_{i=1}^K C_{1,i} C_{2,i} n_i \left(\frac{P_i}{P} \right)^{4.35} \dots\dots\dots (I. 1)$$

表 I. 5 分类车辆标准轴载换算表

车辆类型	代表车型	前轴		后轴		标准轴载 (次)	比例 (%)
		C1	C2	C1	C2		
大客车	黄海 DD680	1	1	1	1	992	3.8
小型货车	北京 BJ130	1	1	1	1	3	0.0
中型货车	东风 EQ140	1	1	2	1	320	1.2
大型货车	黄河 JN150	1	1	2	1	758	2.9
重型货车	黄河 JN263	1	1	2	1	6098	23.4
拖挂车	东风 SP9250	1	1	3.2	1	17906	68.7
Σ						26077	100

I. 2. 6 冷再生适应性分析

根据原路面路况调查和探坑调查结果，对于采取大中修补强处治方案的路段，老路路面病害主要为坑槽、脱落等，路面弯沉较小，单点弯沉绝大部分在 60 (0.01mm) 以内，老路基层较为完整没有产生损坏，老路整体结构强度较高。该路段以改造沥青面层为主，拟对 10cm 老路沥青面层，并添加部分新材料，进行泡沫沥青冷再生。考虑到部分路段穿越镇区，标高不宜增加太多，以及原路面水泥稳定碎石基层需要病害处理，因此采用厂拌再生工艺比较合适。

此外，通过对探坑调查提取的 RAP 进行材料分析，RAP 性能能够满足使用要求；同时，泡沫沥青冷

再生混合料的目标配合比设计结果显示,再生材料的性能指标也能满足技术要求。

采用泡沫沥青厂拌冷再生技术将原有的路面结构改造成两层复合式基层(半刚性底基层和柔性基层)路面结构。与传统加铺方案相比具有以下优点:

- 充分利用了该路段老路强度较高,基层没有损坏的实际路况,将原沥青路面通过再生工艺改造成柔性结构,优化了沥青路面结构组合方式,增强了路面抗疲劳和抗水损害的能力,而且可以有效避免半刚性底基层的反射裂缝问题,延长路面使用寿命。同时在结构组合上避免了采用传统直接加铺造成旧沥青层成为夹层的不利影响;
- 由于泡沫沥青冷再生层封闭养生时间在 2d~3d 左右,养生结束后可开放交通,与传统加铺水泥稳定碎石基层相比,可以显著减小对周边封闭交通带来的影响,同时可节省整个工程施工工期 30%左右;
- 采用泡沫沥青厂拌冷再生技术,与原加铺方案相比可显著降低标高,避免了由于标高增加太大,对沿线附属设施、平交口、镇区的影响,并相应降低了对附属设施改造的费用;
- 由于对老路面改造结构的优化、旧路面材料的充分利用和新材料用量的减少、工期的缩短等,与传统加铺方案相比可降低工程造价。

1.3 结构设计

1.3.1 拟定比选方案

拟定的结构比选方案见表 I.6。

表 I.6 结构比选方案

方案	铣刨方案	再生方案	路面抬高
厂拌	1 10cm 沥青层+9cm 水稳碎石层	16cm(泡沫沥青)+6cmAC-16 改性沥青	3cm
	2 10cm 沥青层+11cm 水稳碎石层	14cm(泡沫沥青)+10cm 普通沥青(4cmAC-13+6cmAC-20)	3cm
	3 10cm 沥青层+8cm 水稳碎石层	12cm(泡沫沥青)+10cm 沥青(4cmAC-13 改性沥青+6cmAC-20 普通沥青)	4cm

1.3.2 交通量预测

根据交通量调查,确定的日均标准轴载 BZZ-100 为 26077 次/日,交通增长率(根据经济发展和交通量增长计算,约为 3%~12%)取 6%,公路等级为二级,双向两车道布置,车辆横向分布系数取 1.0,改建路面设计年限取 10 年,按式 I.2 确定一条车道上设计年限内累计当量轴次 N_e 。

$$N_e = \frac{26077 \times [(1+0.06)^{10} - 1] \times 365}{0.06} \times 1.0 = 12.5 \times 10^7 \dots\dots\dots (I.2)$$

1.3.3 路面结构验算

考虑到既有路面破损不严重且结构性能较好,采用铣刨加铺方案,对既有路面结构层和加铺层进行结构验算。将既有路面简化为水泥稳定碎石层和路基组成的两层体系,利用弯沉盆反演的的方法确定水泥稳定碎石层的模量

各结构层材料设计参数的选取如表 I.7 所示。

表 I.7 各结构层设计参数

层位	20℃动态压缩模量 (MPa)	劈裂强度 (MPa)	泊松比
沥青层 (改性沥青)	10000	1.6	0.35
再生层 (泡沫沥青)	8000	0.7	0.35
原路面 (水稳层)	*	*	0.25

按照 JTG D50-2017 中第 5 章规定检验沥青混合料的低温性能要求、低温破损应变、动稳定度、贯入强度和水稳定性等, 以及泡沫沥青冷再生混合料的 20℃动态压缩模量等技术指标。

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 中 7.4 条规定进行路面结构验算, 路面使用性能设计指标符合 JTG D50-2017 中 3.0.6 和 3.0.7 条规定。

对通过结构验算的各路面结构方案进行经济技术分析, 最终确定方案 2 为推荐方案。

I.4 泡沫沥青冷再生混合料目标配合比设计

I.4.1 RAP 取样和性能

从探坑获取 RAP, 并对 RAP 进行性能检测, 结果如表 I.8 所示。

表 I.8 RAP 性能检测结果

材料	检测项目	单位	检测值	技术要求	评定
RAP (厂拌)	含水率, 不大于	%	2.6	实测	—
	沥青含量	%	4.2	实测	—
	4.75mm 以下部分砂当量	%	66	≥55	合格
	超粒径颗粒 (大于 31.5mm) 含量, 不大于	%	6	12	合格
RAP 中沥青	针入度 (25℃, 5s, 100g)	0.1mm	32	实测	—
	软化点 (R&B)	℃	58	实测	—
	延度 (15℃)	cm	46.5	实测	—
RAP 中粗集料	针片状颗粒含量, 不大于	%	12	20	合格
	压碎值, 不大于	%	16	30	合格
	与沥青的粘附性, 不小于	—	5	4	合格
RAP 中细集料	棱角性	s		实测	—
	2.36mm 以下砂当量, 不小于	%		实测	—

I.4.2 新加料性能检测

对拟选用的粗集料、细集料、水泥和沥青进行质量检测, 相关结果见表 I.9 至 I.12。

表 I.9 粗集料质量检测结果

检测项目	单位	检测值	技术要求	评定
表观相对密度, 不小于	g/cm ³	2.729	2.45	合格
石料压碎值, 不大于	%	20.8	30	合格
吸水率, 不大于	%	2.1	3.0	合格

表 1.9 粗集料质量检测结果（续）

检测项目	单位	检测值	技术要求	评定
针片状颗粒含量（混合料），不大于	%	12.6	20	合格
与沥青的黏附性，不小于	—	5	4	合格
软石含量，不大于	%	1.3	5	合格

表 1.10 细集料质量检测结果

检测项目	单位	检测值	技术要求	评定
表观相对密度，不小于	g/cm^3	2.639	2.45	合格
坚固性（>0.3mm 部分），不小于	%	12.0	—	—
含泥量（小于 0.075mm 的含量），不大于	%	2.0	5	合格
砂当量，不小于	%	50.0	50	合格
亚甲蓝值，不大于	g/kg	25.0	—	—
含水率，不大于	%	3.0	4	合格
棱角性（流动时间），不小于	s	32.0	—	—

表 1.11 水泥质量检测结果

检测项目		单位	检测值	技术要求	评定
细度	80μ m	%	1.8	≤10	合格
	比表面积	m ² /kg	430	≥300	合格
标准稠度用水量		%	27.3	—	—
凝结时间	初凝	min	189	≥180	合格
	终凝	min	294	<600	合格
安定性	雷式夹法	mm	1.0	≤5	合格
胶砂流动度		mm	188	—	—

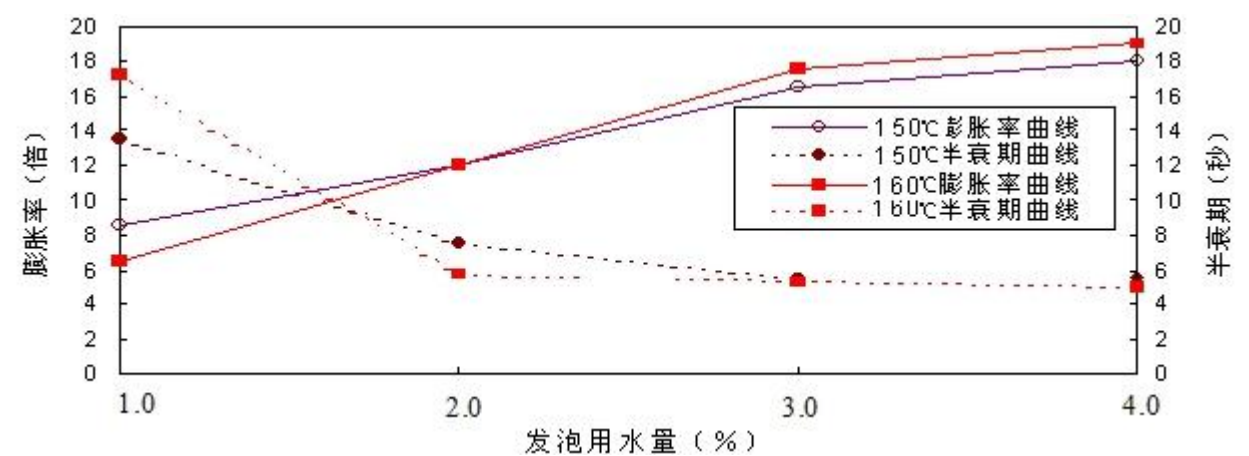
表 1.12 沥青质量检测结果

检测项目		单位	检测值	技术要求	评定
针入度（25℃，5s，100g）		0.1mm	71	60~80	合格
延度（15℃）		cm	>100	≥100	合格
软化点（R&B）		℃	46.5	≥46	合格
闪点		℃	297	≥260	合格
薄膜 加热 试验	质量变化	%	-0.161	不大于±0.8	合格
	残留针入度（25℃，5s，100g）	0.1mm	53	—	—
	残留针入度比	%	74.6	≥61	合格

经综合评价，新添加的粗集料、细集料及拟选用的水泥、A-70 沥青（镇海）质量符合相关要求。

在常温 25℃ $\pm$ 2℃对镇海 A-70 沥青进行发泡性能试验，选择 150℃和 160℃两个沥青发泡温度，每种温度下发泡用水量分别取 1.0%、2.0%、3.0%和 4.0%（相对于沥青的质量分数），量测其膨胀率与半衰期。每种发泡状态均反复试验 3 次，分别求膨胀率和半衰期的平均值，所得试验结果在相同的坐标轴下

绘制不同发泡用水量下膨胀率与半衰期的关系图，如图 I. 1 所示。



图I.1 A-70 沥青发泡性能曲线

对沥青温度在 150℃的发泡性能分析，发现该温度下的最佳发泡用水量为 1.8%，对应的膨胀率为 11，半衰期为 9s；对沥青温度在 160℃的发泡性能分析，发现该温度下的最佳发泡用水量为 1.8%，对应的膨胀率为 10，半衰期为 8s；选择膨胀率与半衰期相加数值最大的 150℃作为最佳发泡温度。镇海 A-70 沥青的最佳发泡条件如表 I. 13 所示。

表I.13 A-70 沥青最佳发泡条件

沥青	发泡温度（℃）	发泡用水量（%）	膨胀率	半衰期（s）
镇海 A-70	150	1.8	11.0	9.0

经评价，沥青在最佳发泡条件下的发泡性能符合相关要求。

I. 4. 3 水泥的用量

考虑到工程所在地雨水较多，对材料的水稳定性有一定的要求，以及冷再生沥青路面所处路段有较多的重车，需要冷再生混合料具有较高的抗车辙性能，并结合当地使用的经验，选择水泥用量为 1.5%。

I. 4. 4 级配范围与材料组成

根据泡沫沥青冷再生混合料应用的道路交通荷载情况和使用的层位，选用如表 I. 14 所示的级配范围，并依据此级配范围，结合 RAP 的级配，选择 0mm~3mm 粒径的石屑和 15mm~25mm 粒径的碎石，调整不同的添加比例进行试配，确定三组材料组成如下：

- a) 方案 A：1.5%水泥+10%石屑+10%碎石+78.5%RAP；
- b) 方案 B：1.5%水泥+5%碎石+10%石屑+83.5%RAP；
- c) 方案 C：1.5%水泥+8%石屑+5%碎石+85.5%RAP。

所用原材料与三组材料的具体级配结果如表 I. 14 所示。

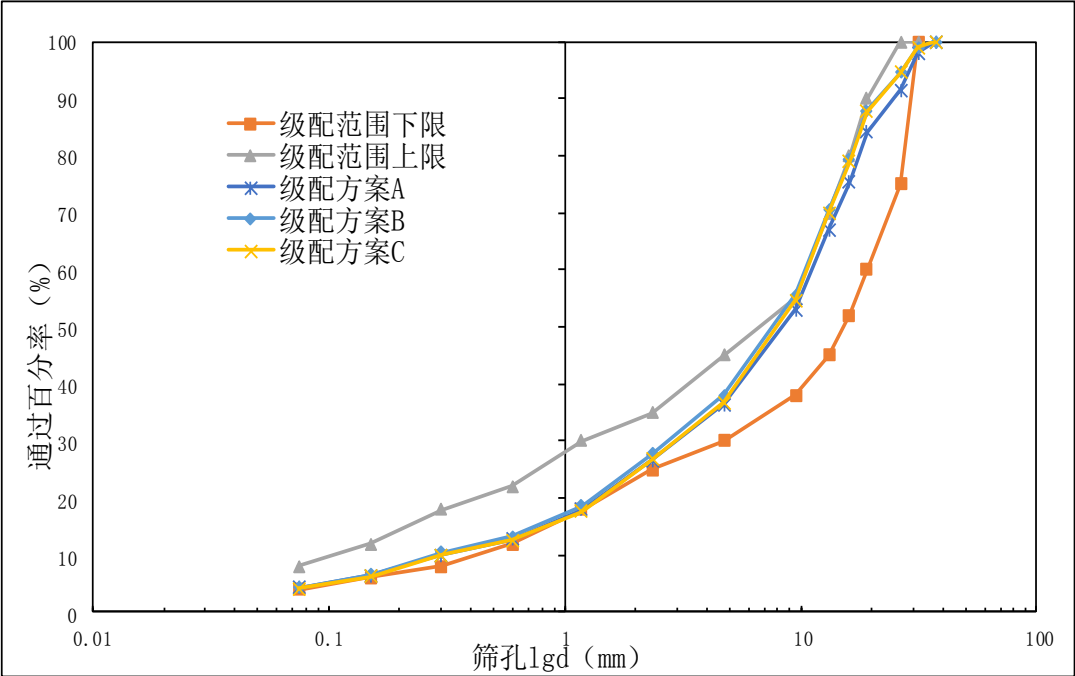
表I.14 原材料筛分结果与各方案材料级配

矿料名称	通过下列筛孔（mm）的百分率（%）												
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
RAP	100.0	97.5	90.5	81.2	70.7	52.8	32.2	22.6	13.2	8.9	7.1	3.3	1.6
碎石	100.0	35.7	16.7	1.1	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 I. 14 原材料筛分结果与各方案材料级配（续）

矿料名称	通过下列筛孔（mm）的百分率（%）												
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
石屑	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.0	73.8	61.5	42.6	29.8	23.7	15.5
水泥	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.3	96.1
A	100.0	91.6	84.2	75.4	67.1	53.0	36.4	26.6	18.0	12.7	10.1	6.5	4.2
B	100.0	94.7	87.9	79.4	70.6	55.6	38.0	27.8	18.7	13.2	10.4	6.6	4.3
C	100.0	94.6	87.7	79.0	70.0	54.7	36.7	26.7	17.7	12.5	10.0	6.2	4.0
下限	100	75	60	52	45	38	30	25	18	12	8	6	4
上限	100	100	90	80	70	55	45	35	30	22	18	12	8

三组材料的级配曲线与所选级配范围曲线如图 I. 2 所示。



图I. 2 三组材料的级配曲线与所选级配范围曲线

I. 4. 5 混合料的最佳拌和用水量和最大干密度

按照 JTG E51 中 T0804 的方法，对合成集料（含水泥、不含沥青）进行击实试验，确定集料最大干密度和最佳含水量。泡沫沥青冷再生混合料的最佳拌和用水量取合成集料最佳含水量的 80%，具体试验和计算结果如表 I. 15 所示。

表I. 15 击实试验结果与最佳拌和用水量

设计指标	最佳含水量（%）	最大干密度（g/m ³ ）	最佳拌和用水量（%）
方案 A	7.9	2.082	6.3
方案 B	7.6	2.071	6.1
方案 C	7.4	2.070	5.9

1.4.6 预估泡沫沥青用量

根据泡沫沥青冷再生混合料的合成级配范围和 RAP 中沥青含量,预估各方案泡沫沥青用量如表 I. 16 所示。

表I. 16 预估泡沫沥青用量

项目	级配方案		
	A 组	B 组	C 组
RAP 中沥青含量 (%)	3.7	4.2	4.6
泡沫沥青预估用量	2.4	2.2	2.1

1.4.7 混合料的拌和与试件成型

以预估的泡沫沥青用量为中值,以 0.3%为间隔拌合 5 组 (-0.4%、-0.2%、中值、+0.2%、+0.4%) 混合料,然后将泡沫沥青混合料移至一密闭容器中存放,并立即成型马歇尔标准试件(每面击实 75 次)。

1.4.8 养生

试件成型后在室温下养生 24h 后脱模,再置于 40℃的通风烘箱中进一步养生 72h,以确保混合料中不含水分。

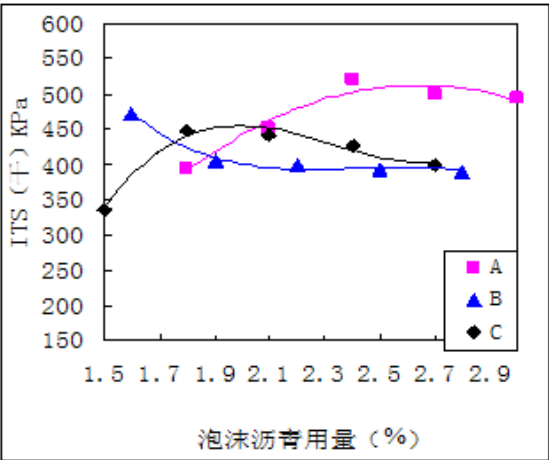
1.4.9 劈裂强度试验与干湿劈裂强度比

每种泡沫沥青用量下,分别成型两组标准马歇尔试件(每组 4 个),分别用于干劈裂强度试验和湿劈裂强度试验。以两组试件劈裂强度的平均值,计算干湿劈裂强度比 ITSR。

1.4.10 初选材料组成及泡沫沥青用量

初选材料组成及泡沫沥青用量按下列要求获取:

- a) 各组材料方案的干湿劈裂强度及干湿劈裂强度比,回归这些指标与泡沫沥青含量关系曲线,各级配方案的试验结果见图 I. 3、图 I. 4 和图 I. 5 所示。从结果可以看出,在不同沥青含量下,材料方案 A 的干湿 ITS 以及干湿劈裂强度比 ITSR 均大于另外两种方案。因此,材料方案 A 应为最佳方案。



图I. 3 不同级配材料干 ITS 随泡沫沥青用量变化关系

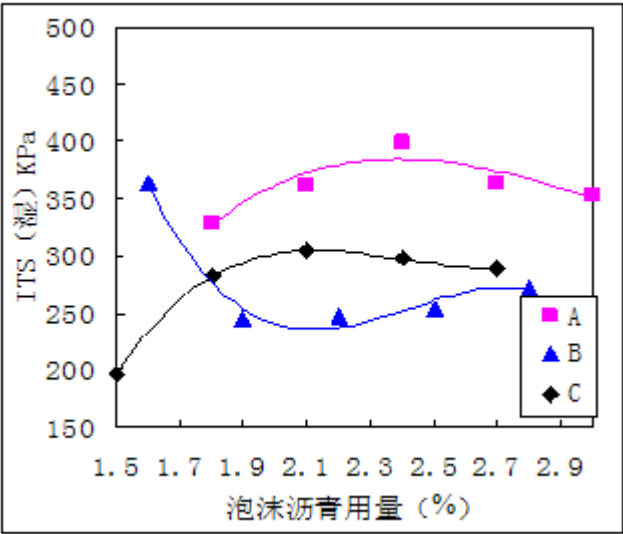


图1.4 不同级配材料湿 ITS 随泡沫沥青用量变化关系

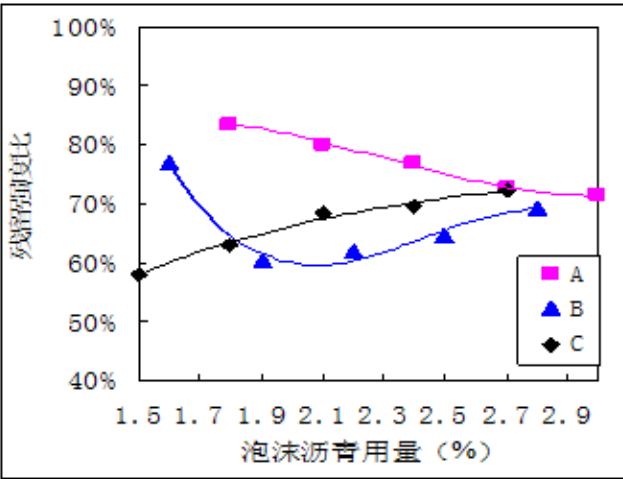


图1.5 不同级配材料 ITSR 随沥青用量的变化关系

对于材料方案 A 在泡沫沥青用量为 2.3%时，其湿劈裂强度获得最大值，此外干劈裂强度、干湿劈裂强度比 ITSR 均满足要求，因此取泡沫沥青用量的设计值为 2.3%。

1.4.11 混合料设计指标要求

泡沫沥青冷再生混合料性能指标应符合下列要求：

- a) 依据初选材料组成的泡沫沥青用量设计值，重新拌和泡沫沥青冷再生混合料，对其进行各项性能指标试验，并应满足表 I. 17 的要求。

表I. 17 混合料设计指标要求

检测项目		检测值	技术要求	评定
马歇尔试验	稳定度 (KN) (60℃)	7.3	≥6.0	合格
	流值 (mm)	2.1	1.5~3.5	合格

表I. 17 混合料设计指标要求（续）

检测项目		检测值	技术要求	评定
劈裂试验	劈裂强度 ITS (MPa) (25℃)	0.49	≥ 0.40	合格
	干湿劈裂强度比 ITSr (%)	83.5	≥ 80	合格
无侧限抗压强度 UCS (MPa) (20℃)		1.6	≥ 1.4	合格
冻融劈裂强度比 TSR (%)		84.5	≥ 80	合格
车辙试验	动稳定度 DS (次/mm) (60℃)	5500	≥ 4000	合格

b) 泡沫沥青冷再生混合料性能指标均能满足要求，材料方案 A 和 2.3%的泡沫沥青用量可以满足设计要求。

I. 4. 12 结构设计参数

根据路面结构设计的需要，对设计好的泡沫沥青冷再生混合料进行20℃单轴压缩动态模量试验，试验结果如表I. 18所示。

表I. 18 混合料设计参数

材料	加载频率 (Hz)	单轴压缩动态模量试验 (MPa)			
级配方案A	5	试验值			平均值
		8210	7850	8230	8097

I. 4. 13 目标配合比设计报告

根据以上配合比设计过程，完成目标配合比报告，包括：RAP 和其他原材料性能试验结果、沥青质量检测结果、沥青最佳发泡条件、水泥用量、选用的级配范围、RAP 和其他原材料的组成比例、最大干密度和最佳拌合用水量、干湿劈裂强度和劈裂强度比、泡沫沥青用量、混合料性能试验结果和结构设计参数试验结果等。