

浙 江 省 地 方 标 准

DB33/T 715—2008

公路泡沫沥青冷再生路面设计与施工  
技术规程

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

2008-11-17 发布

2008-12-17 实施

浙江省质量技术监督局 发布

1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 一般规定.....	2
4.1 路用材料.....	2
4.2 施工条件与要求.....	3
5 冷再生路面设计.....	3
5.1 路况调查.....	3
5.2 路面结构设计.....	4
6 冷再生施工.....	5
6.1 泡沫沥青冷再生混合料设计.....	5
6.2 厂拌冷再生施工.....	8
6.3 就地冷再生施工.....	10
7 施工质量管理与检查.....	12
7.1 一般规定.....	12
7.2 再生设备的管理与检查.....	12
7.3 原材料的质量管理与检查.....	13
7.4 再生混合料的质量管理与检查.....	14
7.5 再生层的质量管理与检查.....	15
8 工程质量的检验评定.....	16
附录 A 沥青发泡性能试验方法.....	17
附录 B 泡沫沥青冷再生混合料的拌和与成型试验方法.....	19
附录 C 泡沫沥青冷再生混合料的劈裂强度试验方法.....	21
附录 D 泡沫沥青冷再生混合料的无侧限抗压强度试验方法.....	22
附录 E 泡沫沥青冷再生混合料的车辙试验方法.....	23
附录 F 某省道泡沫沥青冷再生路面设计实例.....	24
附录 G 泡沫沥青冷再生混合料配合比设计实例.....	29
附录 H 本规程用词说明.....	33
附录 I 条文说明.....	34

# 前 言

我国经济的繁荣，促进了交通事业的发展。现在我国公路总里程达到 187 万公里，高速公路里程已超过 4 万公里，其中上世纪 90 年代修建的公路大都已经进入大、中修阶段。对于在沥青路面养护维修、改造过程中所产生的大量废弃材料，通过再生加以循环利用是当代公路建设中一项具有战略意义的重大举措。

近年来，泡沫沥青冷再生技术在国外许多国家取得了成功应用，应用范围逐年增长。我省从 05 年起引入该项技术，并在省内许多地区的公路大修项目中进行了试验与推广应用，已经铺筑超过 140 万 m<sup>2</sup> 的实体工程，取得了很好社会与经济效益。为更好地规范和指导公路泡沫沥青冷再生路面的设计、施工，保证泡沫沥青冷再生路面质量，编制组在总结现有应用与研究成果的基础上，参考国内外有关成果，制订了本规程。

本规程分为八章，分别为：1 范围、2 规范性引用文件、3 术语和定义、4 一般规定、5 冷再生路面设计、6 冷再生施工、7 施工质量管理与检查、8 工程质量的检验评定，涉及了《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2006)、《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)、《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1-2004)、《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052-2000) 等规范与规程中有关方面的内容，同时针对泡沫沥青及其混合料的材料特性，首次提出了泡沫沥青冷再生路面的结构设计参数与典型结构型式、混合料的配合比设计方法、性能指标评价参数及试验测试方法、冷再生施工工艺流程及要求方面的内容。

本规程是根据近几年的科研成果和国内外的有关资料及工程实践经验而编制的，但需要说明的是泡沫沥青冷再生技术在我国推广时间较短，许多问题还需要进一步研究，希望各单位在使用过程中发现问题或有修改意见及建议，请及时与主编单位联系（地址：浙江省嘉兴市中山路 1005 号，邮编 314001，电话：0573-83683661，E-mail: wugf@163.com），以便修订时参考。

本规程由浙江省交通厅提出并归口。

本规程的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 和附录 I 为规范性附录，附录 F 和附录 G 为资料性附录。

本规程主编单位：嘉兴市交通工程质量安全监督站。

本规程参编单位：同济大学。

本规程主要起草人：邬谷丰、严凤祥、拾方治、钱宪明、方建义、杨智敏、杨惠德、高德明、金国华、方卫东、马亚洲、李秀君、贾晓阳。

## 1 范围

1.1 本规程为规范和指导公路泡沫沥青冷再生路面的设计、施工、质量控制与检查验收，保证泡沫沥青冷再生路面质量。

1.2 泡沫沥青冷再生技术主要用于旧沥青路面材料的再生利用，适用于各等级公路沥青路面的大修、改扩建工程。可用于高速公路、一级公路和二级公路沥青路面的下面层及基层，三、四级公路沥青路面的上面层。城市道路的大修与改扩建工程可参照执行。

1.3 泡沫沥青冷再生施工工艺包括厂拌冷再生和就地冷再生，不同的再生工艺有其适用性，应用过程中应根据工程实际情况选择适宜的再生工艺，可以采用其中一种或两种工艺的组合进行施工。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本规程的引用而成为本规程的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本规程，然而，鼓励根据本规程达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规程。

JTG D50-2006	公路沥青路面设计规范
JTG F40-2004	公路沥青路面施工技术规范
JTJ 034-2000	公路路面基层施工技术规范(附条文说明)
JTG F80/1-2004	公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

## 3 术语和定义

本规程采用下列术语和定义。

### 3.1

**沥青路面冷再生** Cold Recycling of Asphalt Pavement

指常温下将废旧的沥青路面材料加以重复利用的技术。

### 3.2

**泡沫沥青** Foamed Bitumen

指使用专门的沥青发泡设备，向高温沥青中加入少量的水和气，使沥青产生微细的泡沫，形成一种膨胀状态的沥青。

### 3.3

**厂拌冷再生** In Plant Cold Recycling

指旧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整套工艺。

### 3.4

**就地冷再生** In Place Cold Recycling

指利用专用再生机械在现场将原有路面结构铣刨、破碎，根据需要添加新料，在常温下与泡沫沥青拌和，压实成型后，成为路面一个结构层次的整套工艺。



- 3.5
- 泡沫沥青冷再生 Cold Recycling with Foamed Bitumen
- 指将泡沫沥青用于稳定旧沥青路面材料的技术。
- 3.6
- 膨胀率 Expansion Ratio
- 指沥青在发泡状态下的最大体积与发泡前的体积之比。
- 3.7
- 半衰期 Half Life
- 指泡沫沥青从最大体积衰减至最大体积一半时所需的时间。
- 3.8
- 铣刨料 Recycled Asphalt Pavement, 简称 RAP
- 指使用专门的筑路设备（铣刨机、再生机等），将旧沥青路面翻挖、破碎得到的具备一定级配的路面回收旧料。
- 3.9
- 泡沫沥青冷再生混合料 Cold Recycling Mix with Foamed Bitumen
- 使用泡沫沥青作为主要稳定剂，与铣刨料在常温下进行均匀拌和后形成的一种混合料。
- 3.10
- 干湿劈裂强度比 Indirect Tensile Strength Ratio, 简称 ITSr
- 指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 一般规定

4.1 路用材料

4.1.1 沥青

用于发泡的沥青其技术要求及适用范围应符合 JTG F40—2004 中关于道路石油沥青技术要求中 70 号或 90 号沥青的规定。用于重载交通或面层较薄的道路时宜选用 70 号沥青，当日平均气温低于 20℃ 时宜选用 90 号沥青。不得使用改性沥青。

4.1.2 水泥

宜采用强度较低的水泥。普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥都可用于冷再生，技术指标应符合有关国家标准的要求，其中初凝时间不得小于 3h，终凝时间宜在 6h 以上。快硬水泥、早强水泥或者已受潮变质的水泥不得使用。

4.1.3 石灰

石灰质量技术指标应符合 JTJ034—2000 的要求。

4.1.4 石屑和碎石

石屑和碎石应洁净、干燥、无风化、无杂质，并有颗粒级配，质量稳定，其质量应符合表 1 和表 2 的要求。

表 1 石屑材料质量要求

项 目	单 位	指 标	试验方法
表观相对密度，不小于	g/cm <sup>3</sup>	2.45	T0328
砂当量，不小于	%	60	T0334
塑性指数，不大于	—	14	T0118
含水率，不大于	%	4	T0332
注：石屑是指通过 4.75mm 或 2.36mm 的筛下部分。			

表 2 碎石材料质量要求

项目	单位	指标	试验方法
表观相对密度，不小于	g/cm <sup>3</sup>	2.45	T0304 或 T0308
石料压碎值，不大于	%	30	T0316
吸水率，不大于	%	3.0	T0304 或 T0308
针片状颗粒含量（混合料），不大于	%	20	T0312
软石含量，不大于	%	5	T0320
注：碎石是指粒径大于 4.75mm，公称最大粒径为 26.5mm 的碎石材料。			

4.1.5 铣刨料

铣刨料应干燥、材料组成稳定，其质量应符合表3的要求。

表 3 铣刨料质量要求

项目		单位	指标	试验方法
含水量，不大于		%	4	T0305
超粒径颗粒（大于 31.5mm）含量，不大于		%	15	T0312
各筛孔通过率 的变异性	0.075	%	±2	T0301 或 T0327
	0.6	%	±5	
	4.75	%	±7	
	26.5	%	±10	

当铣刨料中超粒径颗粒含量、材料变异性超过要求时，可以采取二次破碎的办法，使其达到要求。

4.1.6 水

凡人或牲畜饮用水均可用于冷再生施工，遇有可疑水源时，应进行试验鉴定。当采用自然水源时抽水管应设有滤网，以防止杂草、树根等杂物堵塞再生设备上的喷嘴。

4.2 施工条件与要求

- 4.2.1 泡沫沥青冷再生施工应采用专用的路面铣刨和再生设备。
- 4.2.2 泡沫沥青冷再生施工宜在气温较高时施工，当气温低于 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。
- 4.2.3 沥青发泡温度宜在 150℃~180℃之间，膨胀率不小于 10 倍，半衰期不小于 10 秒。
- 4.2.4 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沥青团或沥青丝时，必须立即停止生产，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。
- 4.2.5 当泡沫沥青冷再生混合料中含有水泥等活性填料时，从添加活性填料开始至混合料碾压完成的时间间隔不得超过活性填料的初凝时间。
- 4.2.6 泡沫沥青冷再生层碾压完成后即可开放交通，但应限制重载车辆行驶。一般宜在再生层完工 2 天后（再生层含水量以低于拌和时含水量的 40%以下为宜）及时加铺封层。
- 4.2.7 泡沫沥青冷再生施工前应设专人负责设置路挡、标志牌，控制与疏导通车半幅的车辆行驶。

5 冷再生路面设计

5.1 路况调查

原有路面的路况调查按照 JTG D50-2006 中关于改建路面设计的调查内容进行，应重点调查各路段路面损坏的层位（或深度）、各层顶面的强度及各层路面材料的性状。

将原路面划分为若干路段，每个路段应分别开挖探坑。探坑应选择在具有代表性的地点，如果路况比较复杂宜多开挖几处探坑。通过对开挖探坑的调查，完成探坑分析表，探坑分析表应包括：探坑的位置、探坑区域产生的病害、铣刨次数及深度、每层材料的形状分析（材料的类型、含水量、塑性指数、铣刨后级配、抽提后级配、沥青含量等）、每次铣刨后路面结构的描述、每次铣刨后路面结构的回弹模量等。

5.2 路面结构设计

5.2.1 结构层设计

5.2.1.1 泡沫沥青冷再生路面结构由沥青面层（磨耗层）、泡沫沥青冷再生层、剩余路面结构层（包括原有路面的部分基层、底基层、垫层和路基等）等多层结构组成。再生层应具有足够的强度和稳定性，主要起承重和抗疲劳的作用，可以为单层或双层。当再生层用于三、四级公路沥青路面的上面层时，应采用稀浆封层或碎石封层或微表处等做上封层。当再生层作基层或下面层时，沥青面层与泡沫沥青冷再生层之间也应设置封层。

5.2.1.2 泡沫沥青冷再生层的下承层应当具有良好的承载能力，当下承层不满足设计承载力要求时，必须进行补强处理。

5.2.1.3 沥青面层类型应与公路等级、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。

5.2.2 结构设计方法及推荐结构形式

5.2.2.1 泡沫沥青冷再生路面结构可按 JTG D50-2006 中改建路面结构厚度的设计方法进行。其中路面结构类型系数  $A_b$  取值为 1.6。

对泡沫沥青冷再生层的抗拉强度结构系数，按式（5.2.2.1）计算：

$$K_s = \frac{0.0039}{A_c} N_e^{0.43} \tag{5.2.2.1}$$

式中： $A_c$ —公路等级系数，高速公路、一级公路为 1.0，二级公路为 1.1，三、四级公路为 1.2；

$N_e$ —设计年限内一个车道累计当量轴次（次/车道）。

泡沫沥青冷再生材料的极限劈裂强度  $\sigma_s$ ，系指 15℃时的极限劈裂强度。

5.2.2.2 泡沫沥青冷再生路面结构设计应按图 1 所示的流程进行。

5.2.2.3 泡沫沥青冷再生路面常用结构厚度

泡沫沥青冷再生路面常用的结构厚度推荐见表 4。

表 4 泡沫沥青冷再生路面常用结构厚度

交通等级	特重交通	重交通	中等交通	轻交通
沥青面层厚度(cm)	≥10	≥5	≥4	—
再生层厚度（cm）	15~30	15~25	12~25	12~25
下承层强度 $E_o$ (MPa)	≥250	≥200	≥150	≥100

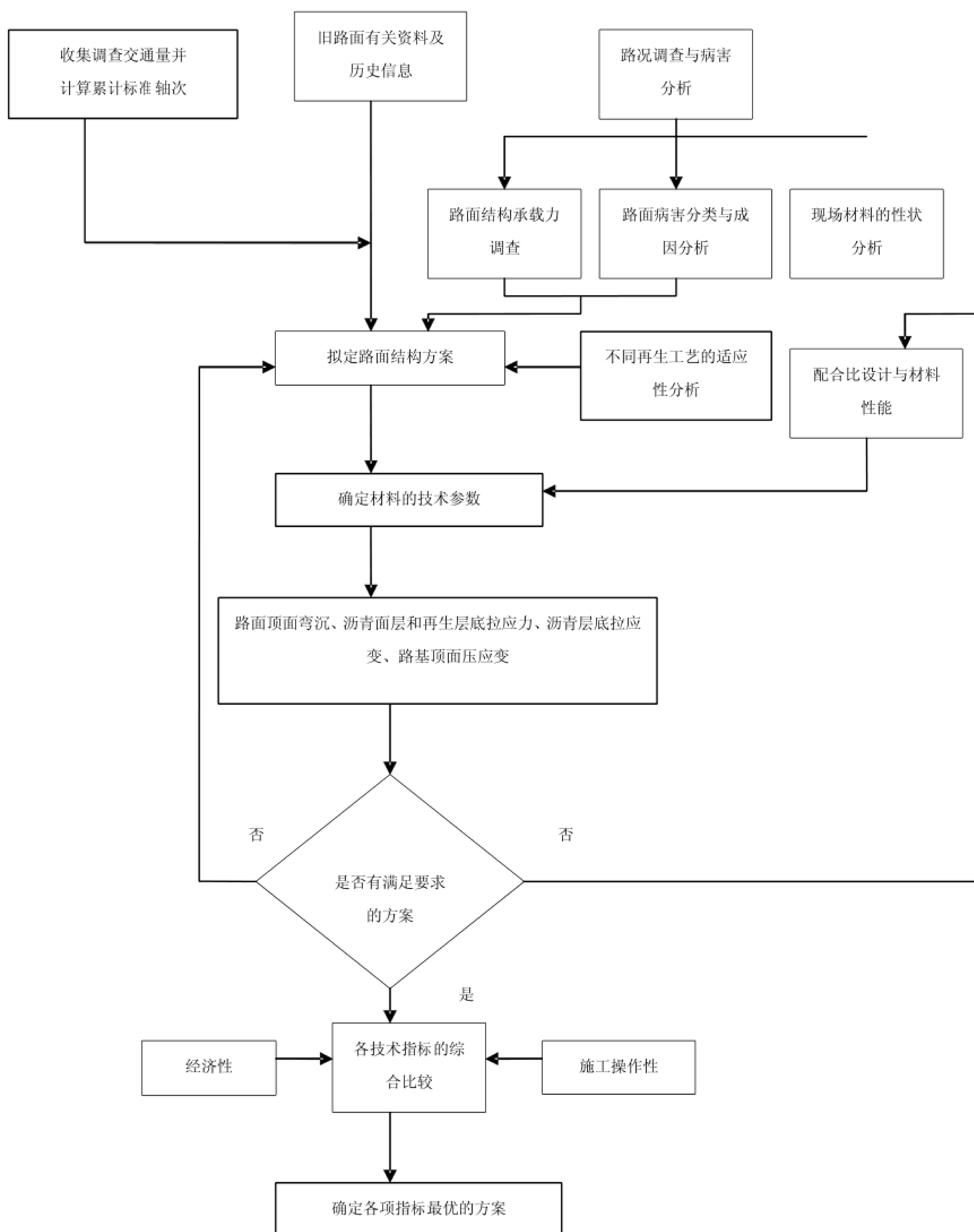


图 1 泡沫沥青冷再生路面结构设计流程图

## 6 冷再生施工

### 6.1 泡沫沥青冷再生混合料设计

#### 6.1.1 泡沫沥青冷再生混合料配合比设计流程图

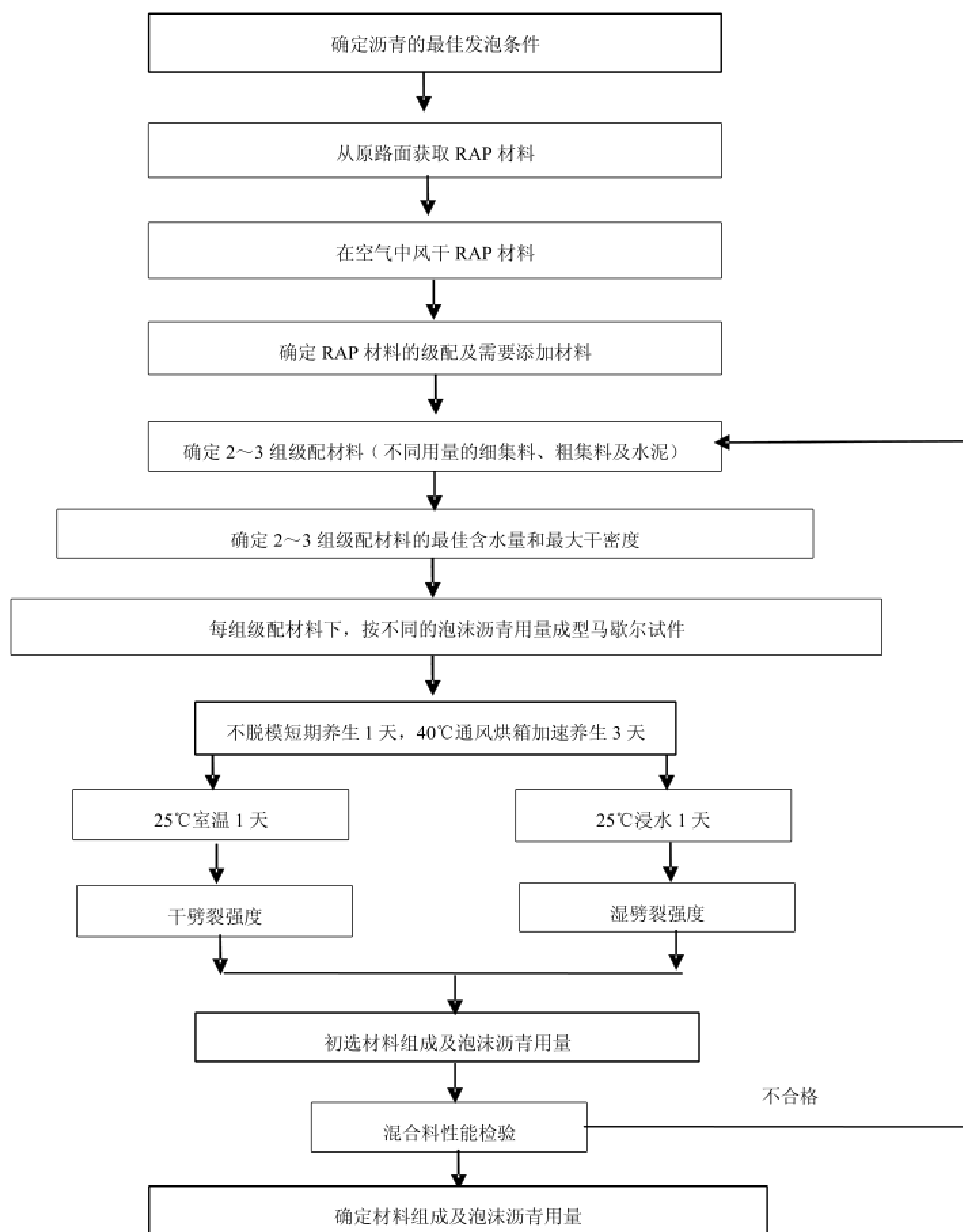


图 2 泡沫沥青冷再生混合料配合比设计流程图

#### 6.1.2 确定沥青的最佳发泡条件

用于泡沫沥青冷再生施工的沥青，应进行发泡性能试验，确定最佳发泡条件，试验方法按照附录A的步骤进行，并应满足4.2.3条规定的要求。

发泡性能用膨胀率和半衰期同时表征，发泡条件包括发泡温度及发泡用水量。

#### 6.1.3 活性填料的选择与使用

应根据混和后材料（未添加泡沫沥青）塑性指数的试验结果，按照表 5 选择活性填料的种类。

表 5 活性填料的选用标准

塑性指数	<10	10~16	>16
活性填料	水泥(0~2.0%)	石灰(1.5~2.5%)	石灰预处理后再稳定

#### 6.1.4 级配范围

用于泡沫沥青冷再生混合料的合成级配范围，应满足表 6 的要求。



表 6 再生混合料合成级配范围

筛孔(mm)	0.075	0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	4.75	9.5	13.2	16	19	26.5	31.5
级配上限 (通过率, %)	15.0	20.0	25.0	32.0	40.0	50.0	60.0	75.0	85.0	90.0	95.0	100.0	100.0
级配下限 (通过率, %)	3.0	6.0	10.0	15.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	65.0	70.0	78.0	100.0

6.1.5 混合料的最佳拌和用水量

泡沫沥青冷再生混合料的最佳拌和用水量为集料（含水泥，不含泡沫沥青）最佳含水量的 80%。

6.1.6 混合料的成型

拌和好的泡沫沥青冷再生混合料，必须在活性填料初凝时间内完成成型，成型方法可参照附录 B。

6.1.7 劈裂强度试验与干湿劈裂强度比

制作至少 4 种不同泡沫沥青用量（通常为 1.5%、2.0%、2.5%、3.0%）的试件，每种泡沫沥青用量下，分别成型两组试件（每组不少于 4 个），分别用于干湿劈裂强度试验。以两组试件劈裂强度的平均值，计算干湿劈裂强度比，试验方法可参照附录 C。

6.1.8 初选材料组成及泡沫沥青用量

根据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。

选择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。

选取初选材料组成湿劈裂强度最大值，所对应的泡沫沥青用量作为泡沫沥青用量的设计值。

6.1.9 混合料的性能要求

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。并对其各项性能试验，各技术指标必须满足表7的要求。

表 7 混合料性能指标要求

类别	技术参数	特重与重交通	中等交通	轻交通
马歇尔试验	稳定度（kN）（60℃）	≥6.0	≥5.0	≥3.0
	流值（mm）	1.5~4.5	1.5~4.0	1.5~4.0
强度	劈裂强度 ITS（MPa）（25℃）	≥0.45	≥0.40	≥0.25
	无侧限抗压强度 UCS（MPa）（20℃）	≥1.5	≥1.2	≥1.0
水稳性	干湿劈裂强度比 ITSR	≥0.80	≥0.75	≥0.70
车辙试验	动稳定度 DS（次/mm）（60℃）	≥4000		

混合料性能指标不能满足表7设计要求的，应通过调整材料组成和沥青用量等方法重新进行材料设计。

6.1.10 材料的设计参数

1 沥青混凝土和半刚性材料设计参数的选取，应按照国家现行规范的要求进行。

2 泡沫沥青冷再生混合料的设计参数，应根据实测确定。

在无试验数据的情况下，设计参数可参考表 8 给出的范围分析确定。

表 8 泡沫沥青冷再生混合料设计参数

抗压回弹模量（MPa）（20℃）	500~1000
劈裂强度（MPa）（15℃）	0.3~0.7

6.2 厂拌冷再生施工

6.2.1 施工流程图

厂拌冷再生施工流程图如图 3 所示。

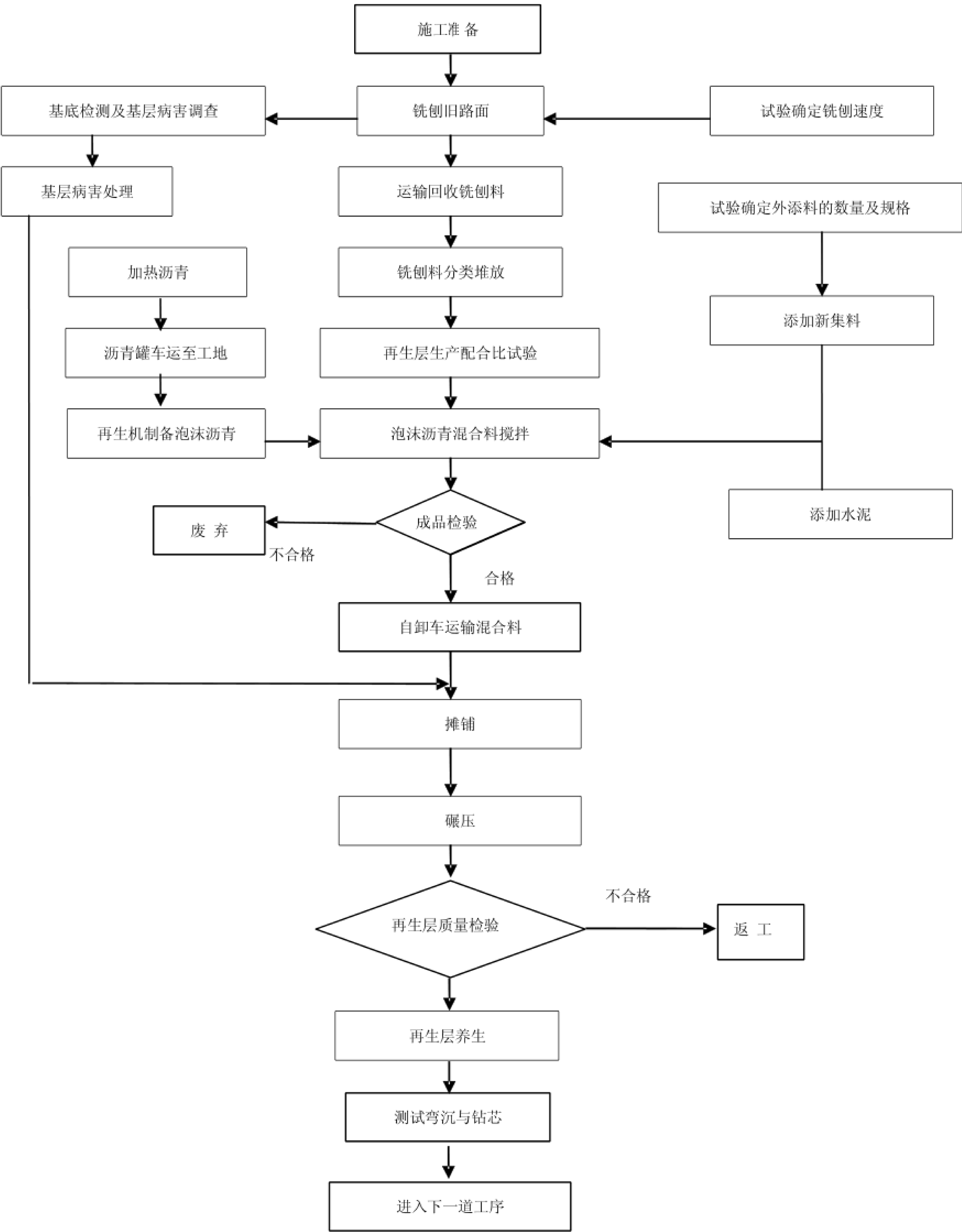


图 3 厂拌冷再生施工流程图

6.2.2 设备要求

#### 6.2.2.1 场地设备要求

水泥料仓 15 吨~40 吨 1 个；装载机 2 台~3 台；15t 以上热沥青保温罐车 2 台~3 台或 10t 以上沥青加热罐 1 台；自卸车若干辆；水车 2 辆~3 辆；路面专用铣刨设备；厂拌再生设备。

厂拌冷再生施工应采用专用的沥青冷再生拌和设备。厂拌设备应具有与测重传感器和数据显示仪相连的全电脑控制系统，沥青的喷嘴应能够自清洗，其连续生产能力不宜低于 150t/h。

#### 6.2.2.2 现场设备要求

12t 以上双钢轮振动压路机 1 台（带强弱振动调整）；单钢轮振动压路机 1 台（带强弱振动调整）；20t 以上胶轮压路机 1 台；摊铺机 1 台~2 台。

#### 6.2.3 拌和场地要求

6.2.3.1 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。

6.2.3.2 拌和场地与工地现场距离符合就近原则。

6.2.3.3 拌和场地应具有完善的排水设施。路面铣刨料和需添加的新料必须分隔堆放，细集料应采取防雨措施，料场及场内道路应作硬化处理，严禁泥土污染。

#### 6.2.4 旧路面的铣刨

根据铣刨机的功率及铣刨材料的级配，确定铣刨机的速度范围，一般不宜超过 8m/min。

铣刨后的路槽应当平整、坚实和符合规定的横坡，不得出现薄的夹层。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。

#### 6.2.5 病害处理

摊铺泡沫沥青冷再生混合料之前，必须对其下承层进行病害调查。对于满足强度要求，但出现病害的区域应进行相应的处理。对于强度不能满足设计要求的必须进行补强处理。

#### 6.2.6 试验路段

在正式摊铺泡沫沥青冷再生混合料之前须先铺筑试验路段。试验段应当位于施工路段之内，长度控制在 100m~200m。试验路段内可根据不同的施工组合方式，确定 2 个~3 个试验分段。通过试验路段应当确定以下内容：

- 1、验证现场材料的级配和确定实际生产配合比；
- 2、热沥青的出厂温度；
- 3、沥青的发泡性能；
- 4、冷再生材料的最大干密度、最佳含水量和添加的水量；
- 5、摊铺的厚度与速度，以及再生层的松铺系数；
- 6、不同压实组合下的压实度；
- 7、泡沫沥青冷再生混合料的性能指标。
- 8、检验各种施工机械的效率及组合方式是否匹配；

试验路段铺筑应由业主、监理共同参加，及时商定有关事项，明确试验目的与内容。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，报监理批准。

#### 6.2.7 再生混合料的拌制

6.2.7.1 如果厂拌设备料仓数量所限，添加的石屑、碎石可以事先按设计比例混和均匀后，再将其混合物装载到料仓。

6.2.7.2 应当经常观测拌和是否均匀，一旦发现沥青出现条状或结团现象，必须立即停止生产。

6.2.7.3 再生混合料取样应符合现行试验规程的要求。

6.2.7.4 每个工作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、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，宜对设定值适当调整。

6.2.7.5 再生材料拌和完成后，应当尽快运输至现场进行摊铺和压实。

#### 6.2.8 再生混合料的运输



再生混合料宜采用较大吨位的运料车运输，但不得超载运输。运料车的运力应稍有富余，施工过程中摊铺机前方应有运料车等候。运料车宜用苫布覆盖，防止运输材料时水分蒸发或遭雨淋。

6.2.9 再生混合料的摊铺

6.2.9.1 再生混合料宜采用自动找平（钢丝绳引导的高程控制）方式的摊铺机进行摊铺。

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。

6.2.9.2 再生混合料的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。

6.2.9.3 摊铺过程中的缺陷宜由人工工作局部找补或更换混合料，但须仔细进行，特别严重的缺陷应整层铲除。

6.2.10 再生混合料的碾压及成型

6.2.10.1 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 20cm。当厚度大于 20cm 时，应经试验路段确定各项施工参数。

6.2.10.2 压路机的工作速度参照 JTG F40-2004 要求进行。碾压时，应重叠 1/3 轮宽，后轮压完路面全宽时，即为 1 遍。

6.2.10.3 压实施工流程为：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

6.2.11 工作缝

工作缝包括纵向工作缝和横向缝，都应采用垂直的平接缝。所有的接缝处都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。

6.3 就地冷再生施工

6.3.1 施工流程图

就地冷再生施工流程图如图 4 所示：

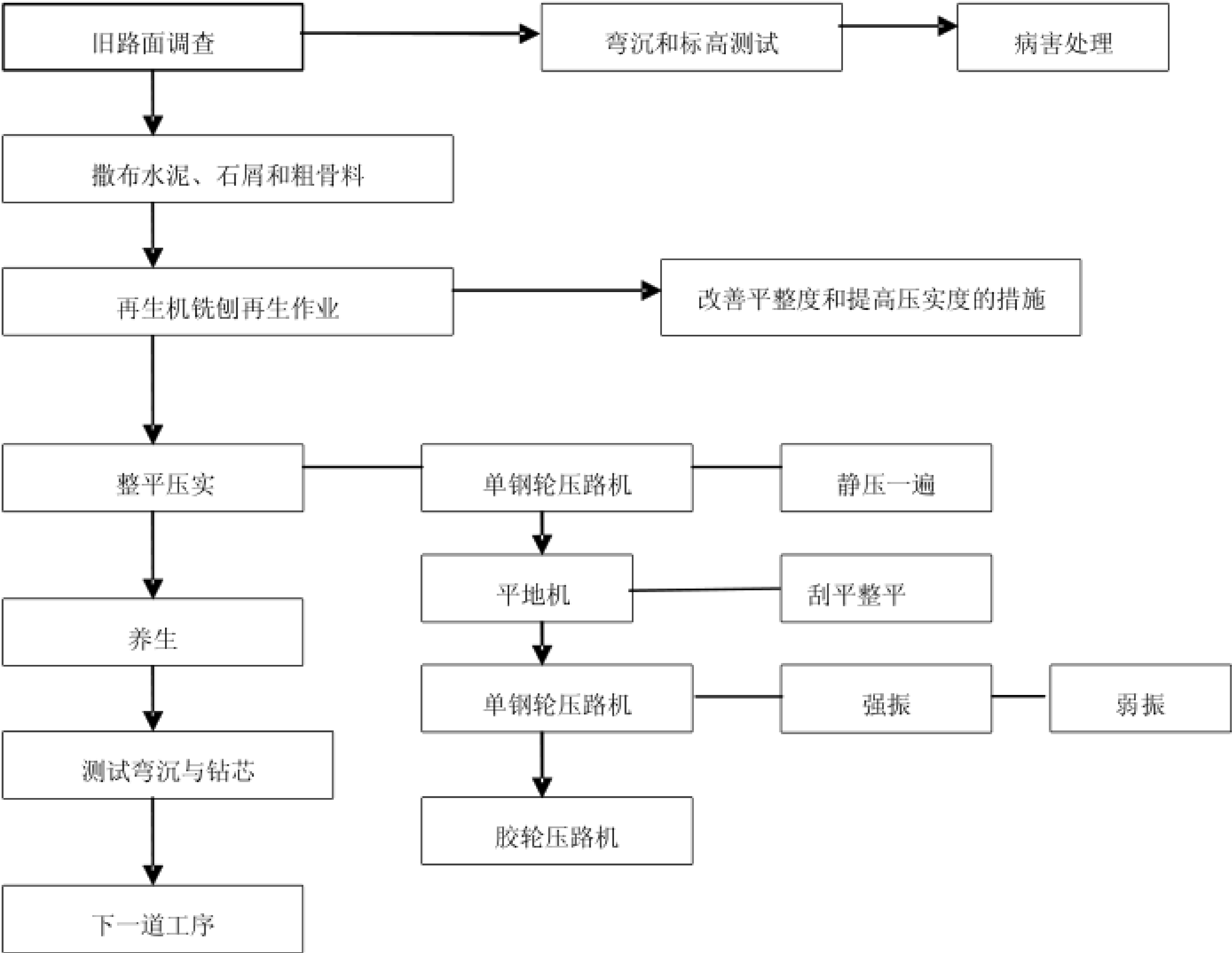


图 4 就地冷再生施工工艺流程图

### 6.3.2 设备要求

就地冷再生机；钢轮振动压路机 1 台（带强弱振动调整）；20t 以上胶轮压路机 1 台；平地机 1 台；15t 以上热沥青保温罐车 2 台~3 台；洒水车 2 辆~3 辆；以及准备与冷再生机连接的推杆、接头、水管。

就地冷再生施工应采用最小功率不小于 300KW（400 马力）的专用路拌机械，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；须配有检测和试验喷嘴（自清洗），以随时检查沥青的膨胀率和半衰期。

### 6.3.3 病害处理

就地再生设计阶段，应对原路面进行详细的病害调查。对泡沫沥青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或补强处理设计。

就地再生施工之前应对路表面必须清扫，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。

### 6.3.4 试验路段

在就地冷再生施工之前须先铺设试验路段。试验段应当位于施工路段之内，长度控制在 100m~200m。在试验路段内可根据不同的施工组合方式，确定 2 个~3 个试验分段。通过试验路应当确定以下内容：

- 1、验证现场材料的级配和实际生产配合比；
- 2、冷再生材料的最大干密度、最佳含水量和添加的水量
- 3、热沥青的出厂温度；
- 4、沥青的发泡性能；
- 5、再生层压实厚度及松铺系数；
- 6、不同压实组合下的压实度；
- 7、泡沫沥青冷再生混合料的性能指标。

8、再生机的铣刨深度及速度、各种施工机械的效率及组合方式是否匹配、冷再生施工的效率及作业段的长度；

试验段铺筑应由业主、监理共同参加，及时商定有关事项，明确试验目的与内容。铺筑完成后，施工单位应就各项试验内容提出完整的试验路段施工、检测报告，报监理批准。

### 6.3.5 撒布石屑和碎石

石屑和碎石应保持干燥。可将石屑和水泥按照设计比例事先拌和均匀，然后再撒布到路面上。石屑和碎石宜采用撒布车撒布，无条件时也可以采取人工撒布。但人工撒布应事先在路面上用石灰粉打格，宜按照每 100 m<sup>2</sup>~300m<sup>2</sup> 的面积进行总量控制，撒布应厚度均匀。

### 6.3.6 水泥类填料

可采用水泥稀浆搅拌机在再生机铣刨搅拌室内液态添加水泥，也可采用人工撒布的方法。采用人工撒布时，水泥类填料的用量按撒布区域的面积来确定，水泥撒布必须均匀。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。

### 6.3.7 再生机作业

6.3.7.1 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。

6.3.7.2 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。

6.3.7.3 应至少每隔 200 米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。工作速度取决于再生机和再生材料的类型，但不得小于 3m/min~8m/min 为宜。

6.3.7.4 应当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。

### 6.3.8 冷再生施工作业段及长度

6.3.8.1 冷再生施工的每个作业段内，为避免产生夹层，宜一次性整平、压实。

6.3.8.2 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，一般控制在 50m~200m 为宜。

### 6.3.9 接缝

#### 6.3.9.1 纵向接缝

相邻两个再生幅面应具有一定的搭接宽度。第一个再生作业的宽度应与铣刨层的宽度一致，所有后续有效再生幅面的纵向搭接宽度不宜小于 15cm。通常，再生层越厚，搭接宽度越大；材料最大粒径越大，搭接宽度越大。

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）。当搭接宽度超过再生机喷嘴的有效喷洒宽度时，后续施工应当关闭若干喷洒嘴，以保证重叠区域没有多余的沥青和水。

#### 6.3.9.2 横向接缝

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 1.5 米的距离，以保证接缝宽度上的材料得到处理。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。

### 6.3.10 整平

静压结束后，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。

### 6.3.11 压实

6.3.11.1 应当及时压实再生材料。其压实最大厚度不宜大于 20cm，当压实厚度大于 20cm 时，应经试验路段确定各项施工参数。

6.3.11.2 压路机的工作速度参照 JTG F40-2004 要求进行。碾压时，应重叠 1/3 轮宽，后轮压完路面全宽时，即为 1 遍。

6.3.11.3 压实施工流程为：

钢轮压路机静压 1 遍 → 平地机整平 → 钢轮压路机低频高幅压实 → 钢轮压路机高频低幅压实 → 视表面干燥情况决定是否撒水 → 轮胎压路机压实。

## 7 施工质量管理与检查

### 7.1 一般规定

7.1.1 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）。

7.1.2 应加强对再生设备的监管，再生设备操作人员必须经过专业的培训，熟悉设备的生产流程和操作方法；

7.1.3 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。

7.1.4 工地实验室应能进行所用材料的各项常规试验，对于工程量大的项目，工地实验室应当配备专门的室内沥青发泡装置或委托具有室内沥青发泡装置的实验室进行有关试验。

7.1.5 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，必须进行返工或补救，使其达到要求。

### 7.2 再生设备的管理与检查

施工过程中应按照表 9 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 9 再生设备的检查项目与频度

检查项目		目的	频率	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	辅助相关仪表
	铣刨深度	检测机器铣刨深度与实际铣刨深度是否一致	每 30~50m	辅助相关仪表
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
	料门开口比例	检查各料仓的开口比例是否正确	随时	机器上的仪表
	机器的生产率	检查机器的生产率是否在规定的范围内	随时	机器上的显示器

7.3 原材料的质量管理与检查

原材料的质量性能指标及检查频度应符合表 10 的要求。

表 10 材料质量检查的项目与频度

材料名称	试验项目	目的	频度	仪器和试验方法
铣刨材料	级配	铣刨材料的级配的变异性是否在允许范围内	当路面结构、铣刨深度、铣刨速度变化时，以及每 8000m <sup>2</sup> 测 2 个样品。	T0302
	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，以及每 5000m <sup>2</sup> 测 2 个样品。	T0305
	材料的组成	材料的组成是否发生变化	当路面结构、铣刨深度、铣刨速度变化时，或其它必要时	目测
	老化沥青含量	为检验新沥青用量提供依据	每 15000m <sup>2</sup> 测 2 个样品	T0722 或燃烧法
石屑	含水率	含水率是否符合要求，同时确定添加的水量。	每 8000m <sup>2</sup> 测 2 个样品	T0332
	级配	确定级配是否符合要求	每 10000m <sup>2</sup> 测 2 个样品	T0327
	表观相对密度	评定材料质量	施工前，或必要时，测 2 个样品	T0328
	塑性指数	材料的塑性是否符合规定	施工前，或必要时，测 2 个样品	T0118
	松方单位重	计算石屑撒布量	施工前，或必要时，测 2 个样品	T0309

表 10（续）材料质量检查的项目与频度

材料名称	试验项目	目的	频度	仪器和试验方法
碎石	外观（石料品种、含泥量）	材料是否符合要求，材料是否变化	施工前，或必要时	目测
	针片状颗粒含量	评定材料质量	施工前，或必要时，测 2 个样品	T0312
	表观相对密度	评定材料质量	施工前，或必要时，测 2 个样品	T0304 或 T0308
	级配	确定级配是否符合要求	每 8000m <sup>2</sup> 测 2 个样品	T0302
	压碎值	评定材料质量	施工前，或必要时，测 2 个样品	T0316
沥青	针入度	评定沥青质量	施工前，和必要时，测 2 个样品	T0604
	软化点	评定沥青质量	施工前，和必要时，测 2 个样品	T0606
	延度	评定沥青质量	施工前，和必要时，测 2 个样品	T0605
	温度	检验沥青温度是否符合设计要求	随时	再生机上温度计读数
	发泡效果	检验沥青发泡效果是否符合设计要求	每天开机施工前，或必要时，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，料源变化时重测	水泥胶砂强度检验方法，水泥凝结时间检验方法
石灰	有效钙、氧化镁	确定石灰质量	施工前，料源变化时重测	T08011、T08012 或 T08013
注：1. “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。 2. 利用再生机上的测试喷嘴检验沥青发泡效果时，可以结合每种机型的特点，在正式施工前或生产过程中进行，具体的试验方法可以参照附录 A 进行。				

7.4 再生混合料的质量管理与检查

- 7.4.1 从就地再生机后和厂拌再生出料皮带连续观测再生材料的质量和均匀性，一旦发现有任何沥青结团和骨料离析等现象，必须立即停止生产进行检查；
- 7.4.2 检查就地再生机驾驶室控制面板和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。
- 7.4.3 再生混合料质量检查的项目和频度应按照表 11 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 11 材料质量检查的项目与频度要求

项目	检查频度及单点检验评价方法	质量要求与允许偏差	试验方法
混合料外观	随时	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。	目测
含水率	每 4000m <sup>2</sup> 或每 800 吨测 2 个样品的平均值评定	+1%，-2%	T0305
沥青用量（油石比）	每 5000m <sup>2</sup> 或每 1500 吨测 2 个样品的平均值评定	±0.3	总量控制或燃烧法、抽提法



表 11（续） 材料质量检查的项目与频度要求

项目	检查频度及单点检验评价方法	质量要求与允许偏差	试验方法
活性填料用量	每 10000m <sup>2</sup> 或每 3000 吨测 2 个样品的平均值评定	±0.3	总量控制或 EDTA 滴定法
马歇尔试验：稳定度、流值	每天 1~2 次，宜 4~6 个试件的平均值评定	符合设计要求	T0709
强度：劈裂强度 ITS 和无侧限抗压强度 UCS	ITS: 每天 1~2 次，宜 4~6 个试件的平均值评定	符合设计要求	本规程附录 C
	UCS: 每 3 天 1 次，宜 6~10 个试件的代表值评定	符合设计要求	本规程附录 D
水稳性（干湿劈裂强度比）	每天 1~2 次，宜 4~6 个湿试件的劈裂强度平均值与干试件劈裂强度平均值之比，进行评定	符合设计要求	本规程附录 C
车辙试验	开工前或必要时，测 3 个样品的平均值评定	符合设计要求	T0719

7.5 再生层的质量管理与检查

7.5.1 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 12 的规定。

表 12 泡沫沥青再生层的质量控制标准

项目		检查频度及单点检验评价方法	质量要求与允许偏差		试验方法
			高速公路和一级公路	其他等级公路	
外观		随时	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		目测
接缝		随时	紧密平整、顺直		目测
厚度 (mm)	均值	每 1500~2000m <sup>2</sup> 6 个点	-8	-10	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	检测每个断面	±20		T0911
	无侧石	检测每个断面	不小于设计宽度		T0911
纵断面高程(mm)	面层厚度≤6cm	检测每个断面	+5,-10	+5,-15	T0911
	面层厚度>6cm		±10	±15	T0911
横坡度 (%)	面层厚度≤6cm	检测每个断面	±0.3	±0.4	T0911
	面层厚度>6cm	检测每个断面	±0.4	±0.5	T0911
平整度 (mm)	面层厚度≤6cm	每 200 米每车道 2 处，每处连续 10 尺	6	8	T0931
	面层厚度>6cm		8	12	T0931
注：表中面层厚度是指泡沫沥青再生层上沥青面层的厚度，指标针对再生层。					

7.5.2 应对泡沫沥青再生层钻取芯样检验其完整性。一般在龄期 7~10 天时，应能取出完整的芯样。如果再生层取不出完整的芯样，则应找出不合格再生层的界限，进行返工处理。

8 工程质量的检验评定

8.1 再生层工程质量的检验评定应符合 JTG F80/1-2004 中路面工程质量检验评定的有关规定。

8.2 基本要求

8.2.1 再生混合料的材料级配应符合设计要求和规程的规定，沥青用量和活性填料用量控制准确。

8.2.2 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程要求。再生混合料的生产，每日应做马歇尔稳定度和劈裂强度试验。

8.2.3 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。

8.2.4 再生层表面必须碾压密实，表面干燥、清洁、无浮土，平整度和路拱度应符合要求。

8.3 实测项目

见表 13。

表 13 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	权值
		高速公路和一级公路	其他等级公路		
压实度(%)	代表值	98	97	每 200m 每车道 1 处	3
	极值	94	93		
平整度(mm)	面层厚度≤6cm	6	8	3m 直尺：每 200m 测 2 处×10 尺	2
	面层厚度>6cm	8	12		
纵断高程 (mm)	面层厚度≤6cm	+5,-10	+5,-15	水准 仪：每 200m 测 4 个断面	1
	面层厚度>6cm	±10	±15		
宽度(mm)	有侧石	±20		尺量：每 200m 测 4 处	1
	无侧石	不小于设计宽度			
厚度(mm)	代表值	－8	-10	每 200m 每车道 1 点	3
	合格值	－15	-20		
横坡(%)	面层厚度≤6cm	±0.3	±0.4	水准 仪：每 200m 测 4 个断面	1
	面层厚度>6cm	±0.4	±0.5		
强度(MPa)		符合设计要求		按附录 C,附录 D	3
注：1. 面层厚度是指泡沫沥青再生层上沥青面层的厚度，指标针对再生层。					

8.4 外观鉴定

8.4.1 表面平整密实、无坑洼、无明显离析。不符合要求时，每处减 1~2 分。

8.4.2 施工接缝平整、稳定。不符合要求时，每处减 1~2 分。

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℃左右）条件进行试验。
- A.1.3 发泡试验用过的沥青，禁止重新进行发泡试验。
- A.1.4 可参照本方法，对现场施工过程中沥青发泡性能进行检验。

A.2 试验设备

A.2.1 沥青发泡设备

目前室内试验通常使用维特根 WLB10 型沥青发泡实验机，如图 A.2.1-1 和 A.2.1-2 所示，喷射泡沫沥青的速率大约 100g/s。接受泡沫沥青的低碳钢铁桶直径与测量膨胀体积的量尺，应与 500g 沥青的喷射量相对应。试验温度变化时应对应沥青喷射时间进行标定，以保证沥青喷射量在 500g。用水量应与沥青流量值对应，标定完沥青喷射量后再根据沥青流量标定用水量。沥青与用水量的标定都应在一定的气压（通常为 4bar）与水压（通常为 5bar）下进行。



图 A.2.1-1 WLB10 实验室用沥青发泡设备图

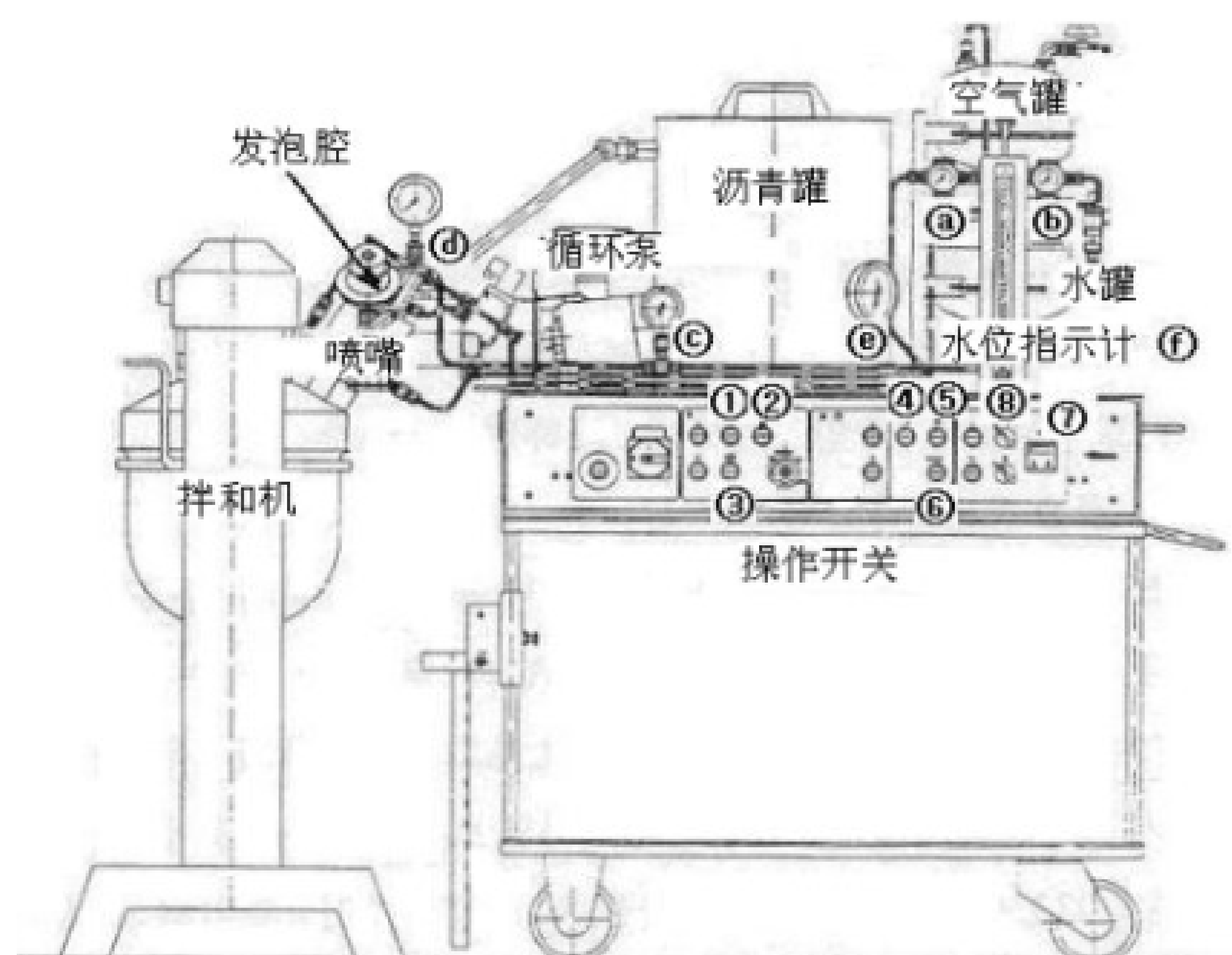


图 A.2.1-2 WLB10 实验室用沥青发泡设备简图

A.2.2 钢桶、量尺与秒表

- (1) 钢桶直径为 275mm，容积为 20 升。
- (2) 使用随机附带的量尺，或使用精度高于该量尺的其它量具。
- (3) 秒表精度不低于 0.1s。

A.3 试验步骤

步骤 1 通过试验机泵送循环的沥青应加热至需要的温度（从 150℃开始），并在开始试验前至少维持 5 分钟。

步骤 2 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。

步骤 3 设定水流量控制计，达到需要的加入量（通常从沥青质量的 2%开始）。

步骤 4 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。

步骤 5 使用标尺（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记录。



步骤6 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记录。

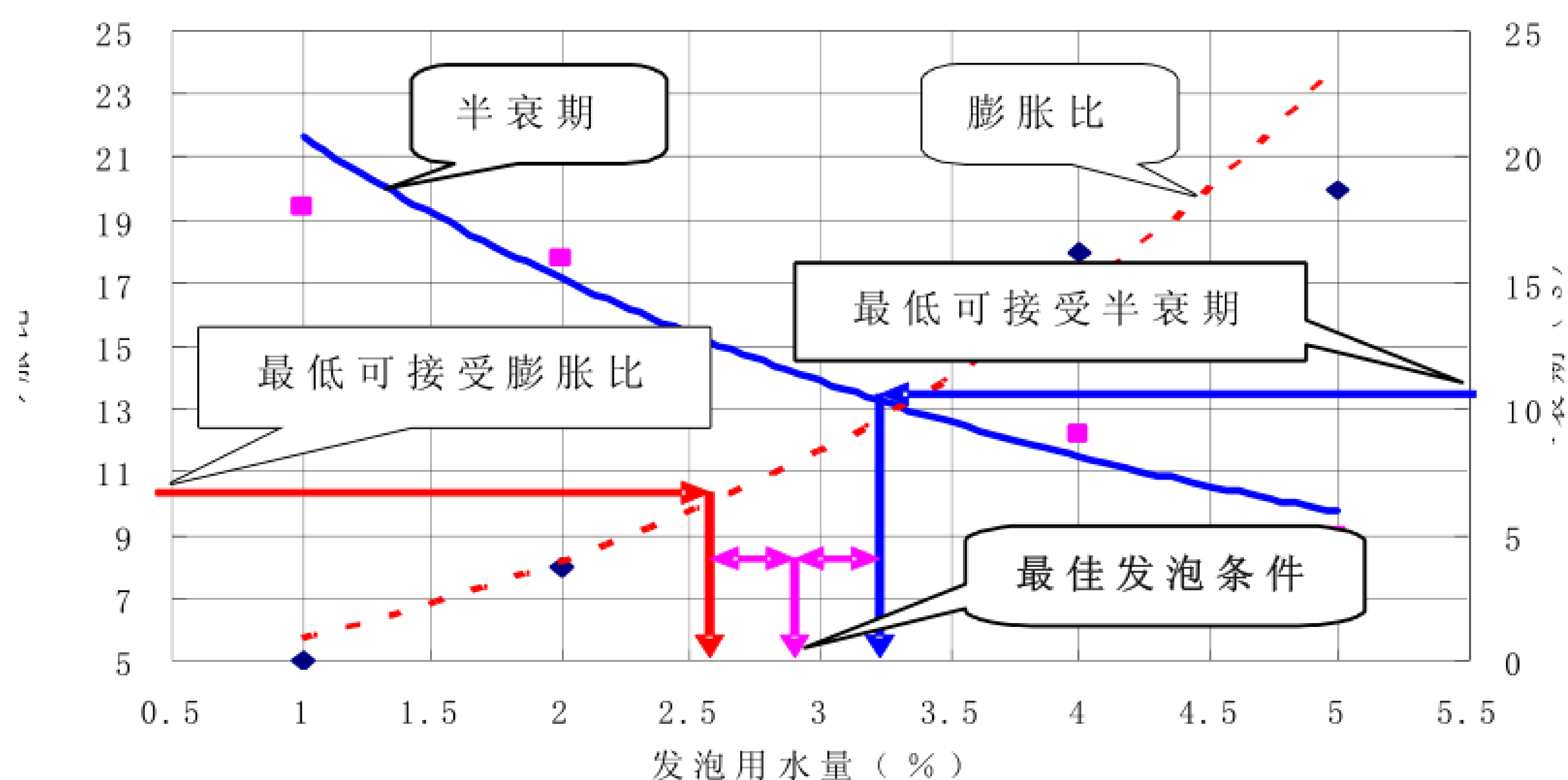
步骤7 重复三次，取平均值。

步骤8 至少在3个发泡用水量下，重复步骤3~7，通常用水量取沥青质量的2%、3%和4%。

步骤9 在相同的坐标轴下（如图A.3所示的例子）绘制不同用水量下膨胀率与半衰期的关系图，确定该温度下的最佳发泡用水量。

重复以上步骤1~9，可对其它发泡温度（通常为160℃、170℃和180℃）进行检验。

步骤10 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都最优的发泡温度，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。



A.3 确定最佳发泡用水量的方法

附 录 B  
(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

B.1 一般规定

B.1.1 应在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。

B.1.2 拌和与试件成型宜在常温(25℃左右)条件下进行。

B.1.3 每次配制的材料数量应当符合拌和锅的容积要求。

B.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。

B.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。

B.2 材料的拌和

步骤1 确定每拌材料的用量。

步骤2 按式(B.2.1)确定试样的干质量。

$$M_{sample} = M_{air-dry} / \left[ 1 + (M_{air-dry} / 100) \right] \quad (B.2.1)$$

式中:  $M_{sample}$  — 试样的干质量, g;

$M_{air}$  — 试样的风干质量, g;

$W_{air}$  — 风干试样的含水率, %;

步骤3 按式(B.2.2)确定活性填料(石灰或水泥)的用量。

$$M_{cement} = (C_{add} / 100) \times M_{sample} \quad (B.2.2)$$

式中:  $M_{cement}$  — 水泥或石灰的用量, g;

$C_{add}$  — 水泥或石灰的含量, %;

$M_{sample}$  — 试样的干质量, g。

步骤4 计算确定最佳拌和用水量  $W_{OMC}$ , 然后按式(B.2.3)确定试样中所需的加水质量。

$$M_{add} = \left( \frac{M_{air}}{1 + 0.01W_{air}} + \frac{M_{cement}}{1 + 0.01W_{c-air}} \right) \times 0.01W_{omc} - \frac{M_{air}}{1 + 0.01W_{air}} \times 0.01W_{air} - \frac{M_{cement}}{1 + 0.01W_{c-air}} \times 0.01W_{c-air} \quad (B.2.3)$$

式中:  $M_{add}$  — 需要加入试样中的水量, g;

$W_{c-air}$  — 石灰或水泥的原始含水量, %;

$W_{OMC}$  —最佳拌和用水量，%。

步骤 5 将试样材料、活性填料、水在拌和锅内一起拌和至均匀。

步骤 6 按式(B.2.4)确定泡沫沥青的用量。

$$M_{bitumen} = (B_{add} / 100) \times (M_{sample} + M_{cement}) \quad (B.2.4)$$

式中：  $M_{bitumen}$  —需要加入的泡沫沥青质量，g；

$B_{add}$  —泡沫沥青含量，%。

步骤 7 按式(B.2.5)确定试验机上计时器时间的设定

$$T = factor \times M_{bitumen} / Q_{bitumen} \quad (B.2.5)$$

式中：  $M_{bitumen}$  —需要添加的泡沫沥青质量，g；

$T$  —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。

步骤 8 将拌合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。

步骤 9 开启拌和机，在向拌和锅内喷射泡沫沥青之前至少拌和 10 秒，并在喷射泡沫沥青后持续拌和 30 秒。

步骤 10 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。

### B.3 成型马歇尔试件

步骤 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。

步骤 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。

步骤 3 用击实锤击实混合料 75 次，必须保证击实锤自由落下。

步骤 4 脱去套筒，将试模反转过来，对另一面同样击实 75 次。

### B.4 试件的养生

步骤 1 将试件连同试模室温条件下放置 24 小时，然后进行脱模。

步骤 2 将脱模后的试件放入  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  通风烘箱养生 72 小时。



附 录 C  
(规范性附录)  
泡沫沥青冷再生混合料的劈裂强度试验方法

C.1 一般规定

C.1.1 标准的间接抗拉强度 ( $ITS$ ) 试验需要测试试件在干燥和浸水两种条件下的  $ITS$  值。通过测量试件的最大破坏荷载以确定  $ITS$  值。

C.1.2 除本附录规定的试验方法外, 其余试验应按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》T0716 的方法进行。

C.2 试验方法

C.2.1 应将养生好的试件在常温 (25℃左右) 下放置不少于6小时, 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。

C.2.2 在测试干试件劈裂强度之前, 必须将试件置于恒温25±2℃空气浴中至少6小时。

C.2.3 在测试湿试件的劈裂强度之前, 必须将试件放入恒温25±2℃水浴中浸水24小时。

C.2.4 按式 (C.2.4) 计算干湿劈裂强度比  $ITSR$ :

$$ITSR = \frac{ITS_{wet}}{ITS_{dry}} \quad (C.2.4)$$

式中:  $ITSR$ —干湿劈裂强度比;

$ITS_{wet}$ —湿试件的  $ITS$  值;

$ITS_{dry}$ —干试件的  $ITS$  值。

附 录 D  
(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

依据《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》T0805 规定的方法进行试件成型与强度试验。试件为  $150\text{mm} \times 150\text{mm}$  的圆柱体试件。其中养生方法为：将每个试件脱模后，在室温下静置 24 小时，然后置于  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  的通风烘箱中，进一步养生 48 小时。48 小时养生结束后，将试件从烘箱中取出，并冷却至室温。

附录 E  
(规范性附录)

泡沫沥青冷再生混合料的车辙试验方法

依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》T0719 的规定进行试件成型与试验。其中养生方法为：试件带模在室温下静置 24 小时，然后置于  $40\pm 2^{\circ}\text{C}$  的通风烘箱中，进一步养生 48 小时。48 小时养生结束后，将试件从烘箱中取出，并冷却至室温。

附录 F  
(资料性附录)  
某省道泡沫沥青冷再生路面设计实例

F.1 结构设计

F.2 路况调查

F.2.1 交通量调查

根据业主统计的按照各类型车辆自然数，按对应的车辆换算系数，换算成标准当量小客车的当年平均日交通量为 31161 辆/日。

F.2.2 病害调查

对整个路段进行现场勘查。勘查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，发现：

- 一 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；
- 一 沥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；
- 一 由于各种病害的出现，和局部沉降的发生，道路的几何形状变差，需要修正；
- 一 小的坑槽，主要出现在修补槽外侧的边缘处。

F.2.3 弯沉调查

弯沉分析结果如表 F.2.3。

表 F.2.3 行车道实测弯沉值

统计分段	实测弯沉代表值 (L <sub>0</sub> ) (1/100mm)	测点数 (个)	标准差
K0+000~K0+975	68.57	78	24.85
K1+000~K1+975	107.73	78	43.74
K2+000~K2+975	66.95	78	28.54
K3+000~K3+975	78.12	76	26.57
K4+000~K4+975	67.75	78	27.54
K5+000~K5+975	72.24	80	28.80
K6+000~K6+975	87.11	76	26.39
K7+000~K7+975	86.25	60	33.62
注：以行车道中心线为弯沉测量点，每隔 25m 实测一点弯沉。			

根据弯沉测试结果发现，路基比较稳定，基层没有遭到严重破坏，仍具有一定的承载能力。路面损坏主要是由于面层材料的损坏，以及半刚性基层反射裂缝的引起的各种水损坏。重作面层、改造基层，减少裂缝，减小水损坏将是路面改造的出发点。

F.2.4 测试坑、承载板试验与取样

对原路面进行开挖，一是可以进一步了解路面结构的情况；二是通过承载板试验，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，还可以用于材料的试验室设计。同时根据现场勘测评估，选取两处开挖地点。

第一处开挖桩号为左幅 K1+150，第二处开挖桩号为右幅 K1+150。

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。  
典型测试坑分析如下表 F.2.4-1 所列。

表 F. 2. 4-1 测试坑分析表

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

不同深度铣刨完毕后，在下承面顶面进行承载板试验。承载板试验结果如下表 F.2.4-2 所列。

表 F. 2. 4-2 现场承载板法测得回弹取值

桩号	车道	测量位置	回弹模量(MPa)
K1+150	左幅行车道	路表面下 10cm 承载面	364.1
K1+150	左幅行车道	路表面下 15cm 承载面	323.6
K1+150	左幅行车道	路表面下 15cm 承载面	317.0
K1+150	左幅行车道	路表面下 20cm 承载面	275.4
K1+150	右幅行车道	路表面下 16cm 承载面	568.1
K1+150	右幅行车道	路表面下 16cm 承载面	515.7

F. 3 工艺的选择

由于原路面标高不允许增加太多，而且路面出现了不少翻浆、沉陷等深层次的病害，因此决定采用厂拌冷再生工艺进行施工。

F. 4 结构方案的比选与确定

F. 4. 1 拟定比选方案

表 F. 4. 1 厂拌再生结构比选方案

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

F. 4. 2 交通量预测

根据交通量的调查，每日当量小客车交通量为 31161 辆/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 8%，道路等级为一级，车辆横向分布系数取 0.6，路面设计年限为 10

年，按式（F.4.2）确定一条车道上设计年限内总累计交通量  $N_e$ 。

$$N_e = \frac{31161[(1+0.08)^{10}-1] \times 365}{0.08} \times 0.6 \times 0.5 = 4.9 \times 10^7 \text{ (次)} \tag{F.4.2}$$

F.4.3 轴载的等效换算

交通调查的数据为小客车的流量，因此设小客车参数为轴重 40kN，因此该车型通过一次相当于标准轴载通过的次数为：

$$N_1 = \sum_{i=1}^K C_{1,i} C_{2,i} n_i \left( \frac{P_i}{P} \right)^{4.35} = 2 \times 1 \times 6.4 \times 1 \times \left( \frac{40}{100} \right)^{4.35} = 0.24 \tag{F.4.3-1}$$

所以，标准轴载次数为：

$$N_e = 0.24 \times 4.9 \times 10^7 = 1.2 \times 10^7 \text{ (次)} \tag{F.4.3-2}$$

F.4.4 各层材料设计参数

各结构层材料设计参数的选取如表 F.4.4 所示。

表 F.4.4 各结构层设计参数选取

层位	模量(MPa)	泊松比
沥青层（改性沥青）	1500	0.35
再生层（泡沫沥青）	700	0.35
原路面（水稳层）	*	0.2

综合考虑各种因素的基础上，回弹模量取一定的折减系数进行可靠性设计，本项目取 0.7。

分别采用我国路面设计方法和 AI 设计方法，验算各方案设计结构层厚度是否符合满足要求。

F.4.5 采用我国目前沥青路面设计方法计算

1 确定设计弯沉：

$$l_d = \frac{600 A_c A_s A_b}{N_e^{0.2}} = \frac{600 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.6}{(1.2 \times 10^7)^{0.2}} = 36.85(0.01mm)$$

2 确定沥青层底容许拉应力：

沥青层底拉应力：

$$K_s = \frac{0.09 A_a N_e^{0.22}}{A_c} = \frac{0.09 \times 1.1 \times (1.2 \times 10^7)^{0.22}}{1.0} = 3.57$$

$$\sigma_{1s} = \frac{\sigma_{sp}}{K_s} = \frac{1.6}{3.57} = 0.45MPa$$

3 确定泡沫沥青再生层底容许拉应力：

$$\sigma_{2s} = \frac{\sigma_{sp}}{K_s} = \frac{0.7}{4.3} = 0.16MPa$$

4 路面结构弯沉和层底拉应力计算：

用路面设计软件计算，得到左侧与右侧路面结构轮隙中心处路表弯沉计算值ls与修正值Ls、沥青层底拉应力  $\sigma_{1m}$ 和泡沫沥青再生层底拉应力  $\sigma_{2m}$ ，结果如下表F.4.5所示。

表 F. 4. 5 路面结构弯沉和层底拉应力计算结果

方案	计算项目	左幅	右幅
1	ls(0.01mm)	33.23	21.20
	Ls修正(0.01mm)	34.93	23.88
	$\sigma_{1m}$ (MPa)	-	-
	$\sigma_{2m}$ (MPa)	0.1687	0.0604
2	ls(0.01mm)	31.67	20.33
	Ls修正(0.01mm)	32.69	22.54
	$\sigma_{1m}$ (MPa)	-	-
	$\sigma_{2m}$ (MPa)	0.1564	0.0583
3	ls(0.01mm)	31.30	20.15
	Ls修正(0.01mm)	32.16	22.26
	$\sigma_{1m}$ (MPa)	-	-
	$\sigma_{2m}$ (MPa)	0.1550	0.0588

所以，根据计算结果，方案 2 和 3 满足要求。

F. 4. 6 采用沥青协会AI设计方法计算

计算得到了其沥青层底面的拉应变  $\varepsilon_t$ ，路基表面的压应变  $\varepsilon_c$ ，如表F.4.6所示。

表 F. 4. 6 路面结构弯沉和层底拉应力计算结果

方案	计算项目	左幅	右幅
1	沥青层底拉应变 (10 <sup>-6</sup> )	41.53	54.46
	土基顶面压应变(10 <sup>-6</sup> )	484.6	312.8
2	沥青层底拉应变 (10 <sup>-6</sup> )	86.31	90.15
	土基顶面压应变(10 <sup>-6</sup> )	200.1	167.4
3	沥青层底拉应变 (10 <sup>-6</sup> )	91.24	92.76
	土基顶面压应变(10 <sup>-6</sup> )	198.4	167.0

F. 4. 7 各方案技术性能综合比较

通过表F.4.7可以看出，认为方案3具有较为理想的结构性能，尤其具有最好的抗永久变形能力，因此推荐采用方案3。

F. 4. 8 各方案造价比较

各方案的造价分析及比较如表 F.4.8 所示。

表 F.4.7 方案评价

方案	弯沉	再生层底拉应力	沥青层底拉应变	土基顶面压应变
1	大	大	小	大
2	-	-	中	中
3	-	-	大	小
注：（1）“-”表示两者数值基本相同。				

表 F.4.8 方案造价评价

	方案	路幅	沥青面层 (元/m <sup>2</sup> )	封层 (元/m <sup>2</sup> )	再生层 (元/m <sup>2</sup> )	总计 (元/m <sup>2</sup> )	1公里造价 (万元)
厂拌	1	左幅	60	5	57.8	122.8	92
		右幅	60	5	46.9	111.9	84
	2	左幅	80	2	50.5	132.5	99
		右幅	80	2	39.7	121.7	91
	3	左幅	88	2	50.5	140.5	105
		右幅	88	2	39.7	129.7	97

附 录 G  
(资料性附录)  
泡沫沥青冷再生混合料配合比设计实例

G.1 发泡试验

在室温25℃左右对浙江常用的壳牌AH-70和镇海AH-70沥青进行了发泡试验，选择150℃和160℃2种沥青发泡温度，每种温度下发泡用水量分别取1.5%、2%、3%和4%（相对于沥青的质量分数，下同），量测其膨胀率与半衰期。每种发泡状态均反复试验2次~3次，求其平均值，所得结果如图G.1-1和图G.1-2所示。

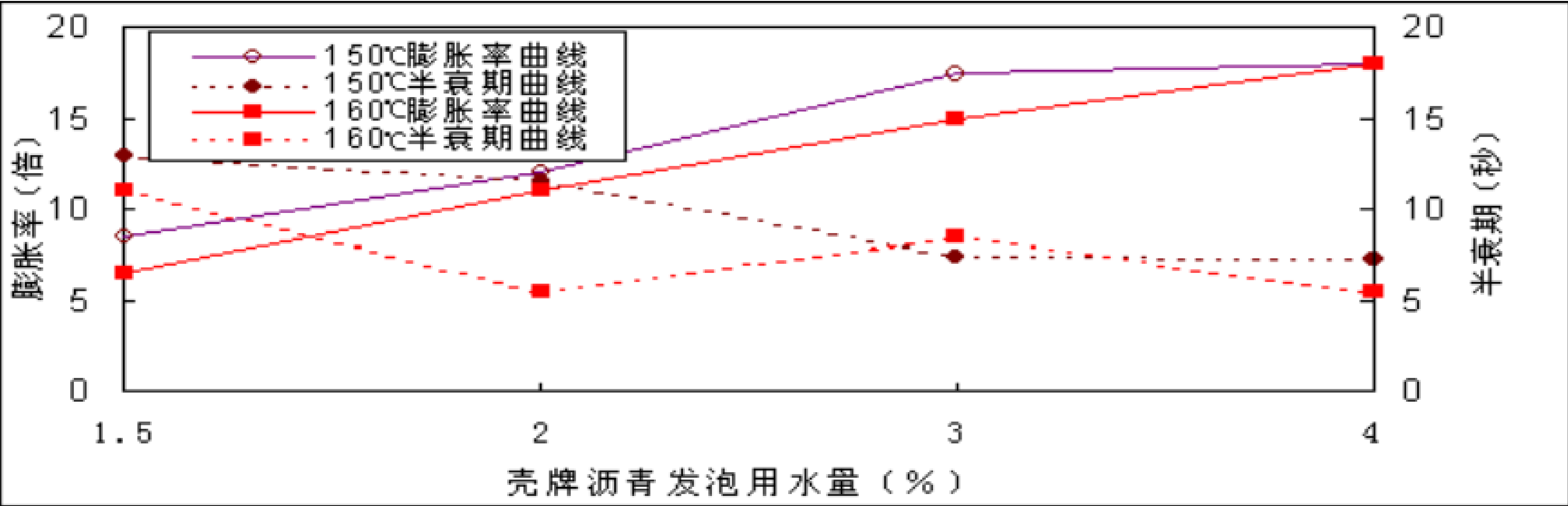


图 G.1-1 壳牌沥青的发泡特性曲线

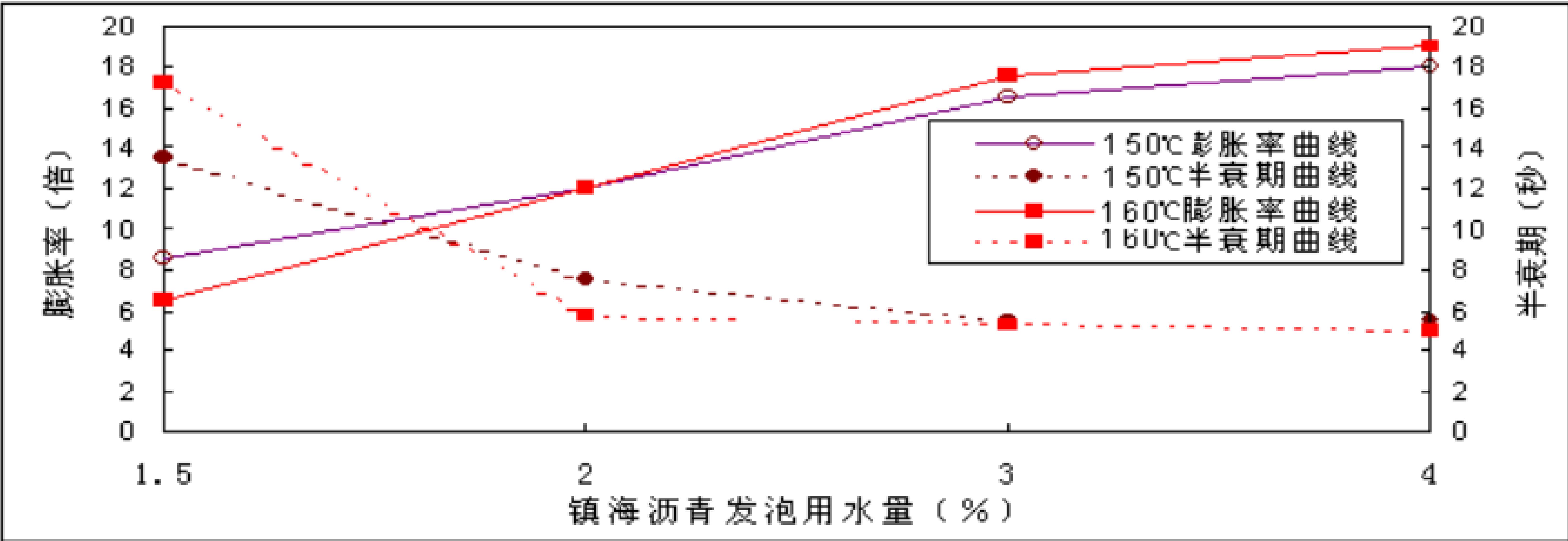


图 G.1-2 镇海沥青的发泡特性曲线

G.2 最佳发泡条件

根据试验所得到的各沥青发泡特性曲线，综合考虑膨胀率和半衰期2个因素，可得出各沥青的最佳发泡温度和发泡用水量。壳牌AH-70和镇海AH-70沥青的最佳发泡条件如表G.2所示。

表 G.2 两种沥青的最佳发泡条件

沥青	发泡温度（℃）	发泡用水量（%）	膨胀率	半衰期（s）
壳牌 AH-70	150	2.0	12	11.5



镇海 AH-70	150	1.7	10	10.5
----------	-----	-----	----	------

### G.3 级配方案确定

采用3种级配方案，即：  
A组：1.5%水泥+28.5%石屑+70%铣刨料；  
B组：1.5%水泥+18.5%石屑+80%铣刨料；  
C组：1.5%水泥+8.5%石屑+90%铣刨料。  
3组方案级配均满足规程的要求。

### G.4 最佳拌和用水量的确定

取最佳含水量的80%作为最佳拌和用水量。最佳拌和用水量计算结果如表G.4所示(含水量和最佳拌和水量均为集料干重的百分率)。

表G.4 击实试验结果与拌和用水量

设计指标	最佳含水量(%)	最大干密度（g/m³）	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

### G.5 混合料的拌和与试件成型

在室温25℃左右将集料倒入拌和锅，采用低速档拌和均匀，然后缓慢注入所需的用水量（水温在25℃左右），接着变换搅拌机至高速档拌和10秒，然后喷射泡沫沥青。喷射结束继续拌和约30秒，再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）。

### G.6 养生

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

### G.7 泡沫沥青设计用量的确定

在同一坐标轴上绘制所有试件（干燥和浸水）的 *ITS*—沥青含量（加入的沥青）关系曲线。各级配方案的试验结果见图G.7-1～图G.7-3。从结果可看出，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。

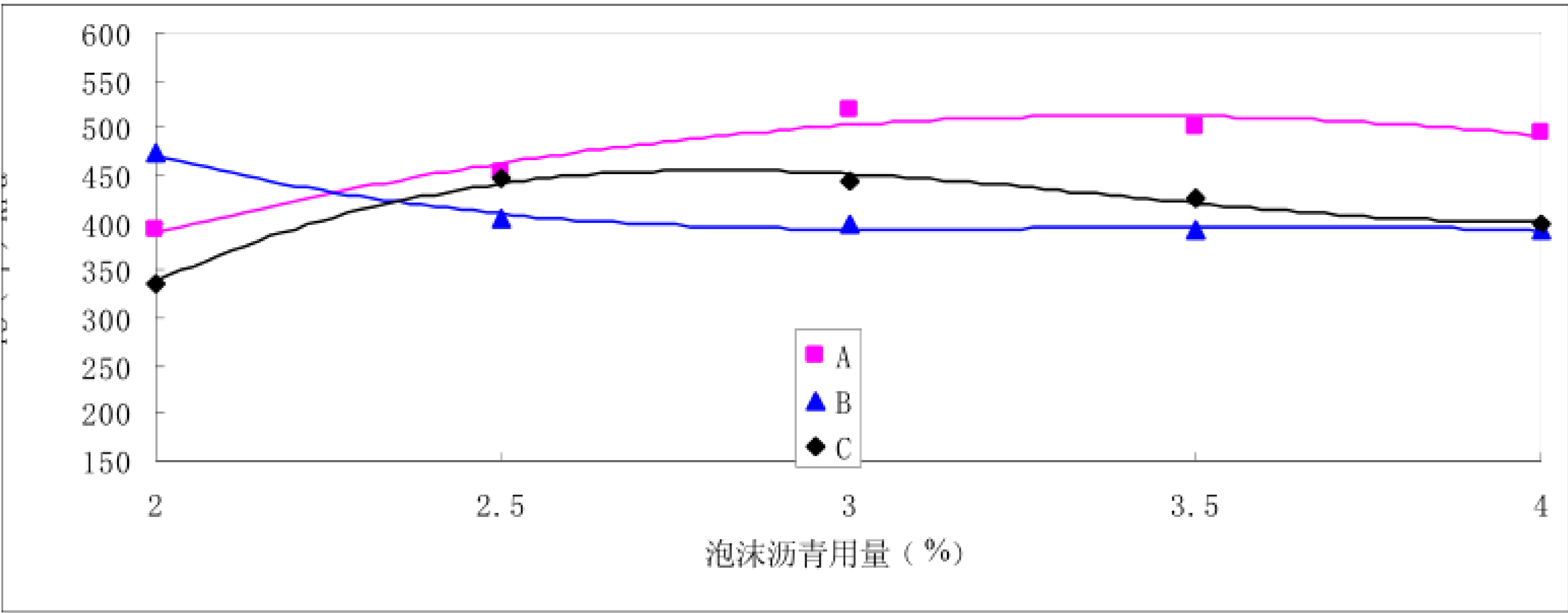


图 G. 7-1 不同级配材料干 *ITS* 随泡沫沥青用量变化关系

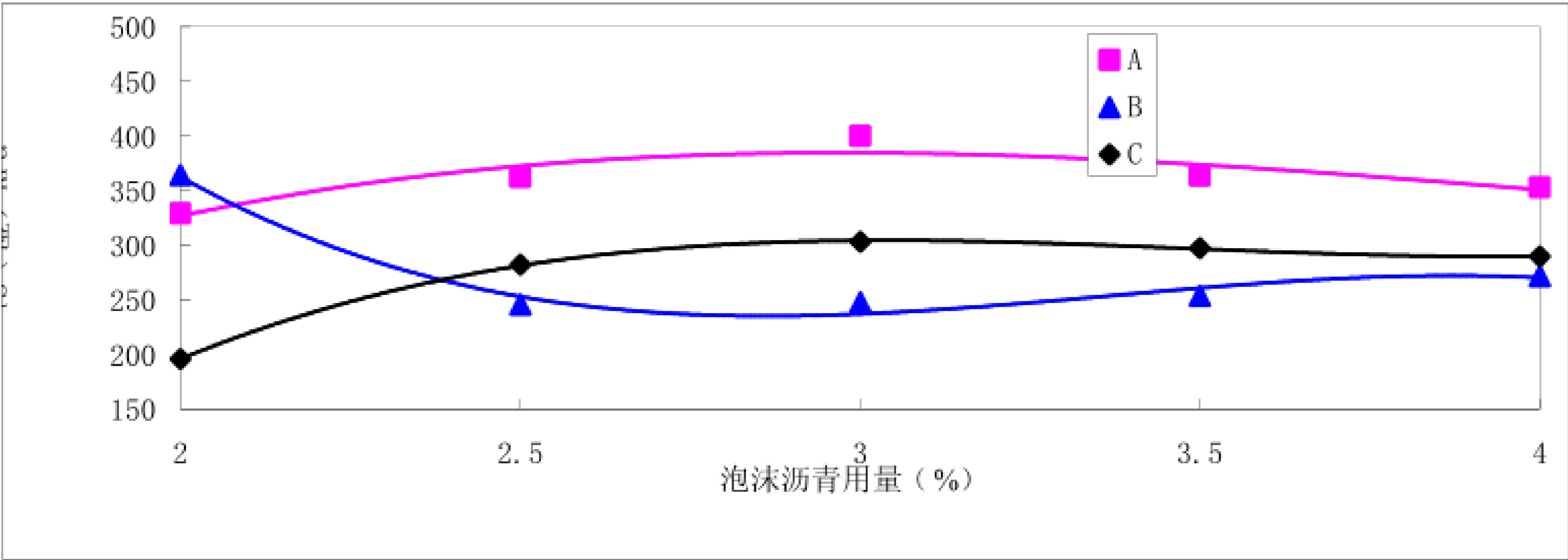


图 G. 7-2 不同级配材料湿 *ITS* 随泡沫沥青用量变化关系

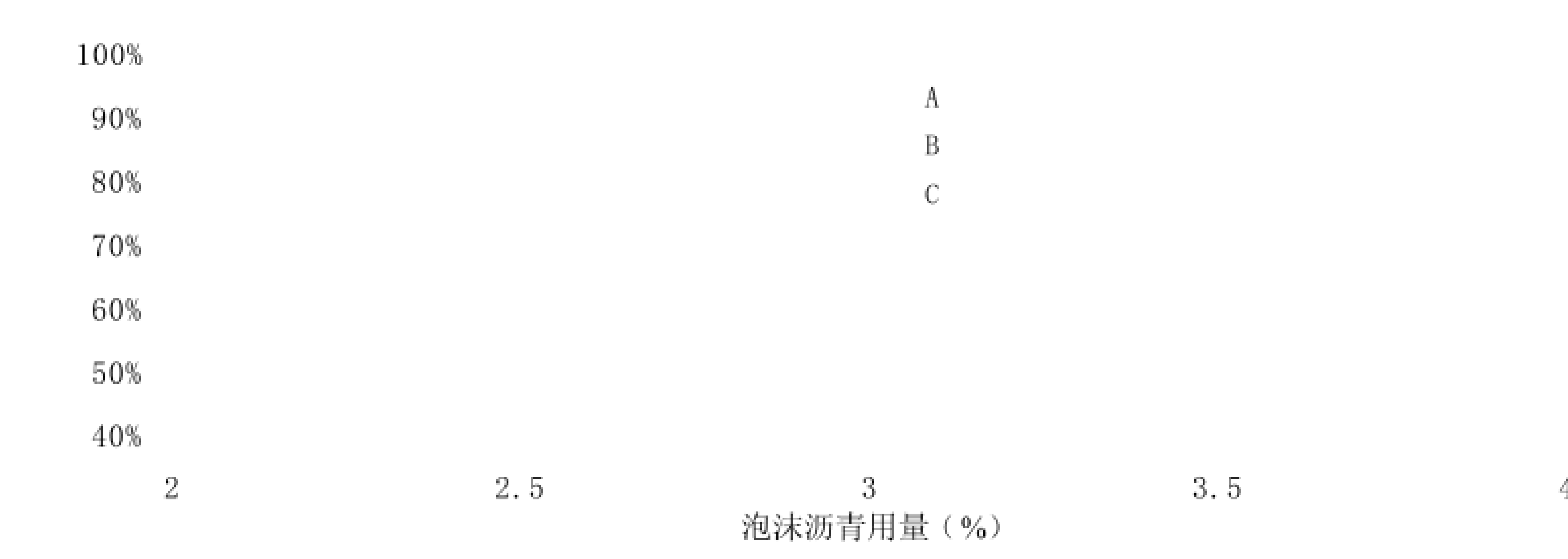


图 G. 7-3 不同级配材料 *ITSr* 随沥青用量的变化关系

G. 8 初选沥青用量

对于材料方案A在泡沫沥青用量为2.3%时，其干湿劈裂强度、干湿劈裂强度比均满足设计要求。因此将2.3%作为初选沥青用量。然后根据材料方案和初选沥青用量，重新拌制泡沫沥青冷再生混合料，进行稳定度和抗压强度等试验，试验结果如表G.8所示。

表 G. 8 混合料性能试验结果

类别	技术参数	测试值	平均值	二级公路
马歇尔试验	稳定度（60℃）（KN）	5.2； 5.5； 4.8	5.2	≥4.0
	流值（mm）	2.2； 2.4； 1.9	2.2	1.5~4.5
强度	无侧限抗压强度 UCS（20℃）（MPa）	1.4； 1.2； 1.5；	1.4	≥1.2

材料性能检测结果表明选用材料方案A和2.3%的泡沫沥青用量完全可以满足设计要求。

G.9 泡沫沥青冷再生混合料设计结果

- （1）壳牌和镇海沥青 AH-70 发泡试验结果：  
发泡温度：150℃； 发泡用水量：2.0%
- （2）材料与级配设计结果：  
旧沥青层材料 70%； 石屑（0~3mm）： 28.5%； 水泥： 1.5%；
- （3）最佳含水量： 7.9%；
- （4）最佳拌和用水量： 6.3%；
- （5）最大干密度： 2.082g/cm³；
- （6）泡沫沥青用量（油石比）： 2.3%。





附 录 H  
(规范性附录)  
本规程用词说明

H.1 为了准确地掌握规程条文，对执行规程严格程度的用词作如下规定：

一、表示很严格，非这样做不可的用词

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

二、表示严格，在正常情况均应这样做的用词

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

三、表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

附 录 I  
(规范性附录)  
条文说明

## 1 范围

1.1 采用泡沫沥青冷再生技术对旧沥青路面进行再生用于公路的养护维修,不仅可以将原有的路面材料再生使用,保护环境、节省资源,降低工程造价,而且通过再生技术还可以矫正原有路面材料的缺陷,改造原有路面的结构,延长路面的使用寿命。

在过去的1~2年,我省在试验路段初步成功的基础上,各地相继开展了泡沫沥青技术的应用推广。为了更好应用该技术为我省公路路网维修与改造服务,在总结现有应用与研究成果基础上,参考国内外有关成果,编制本规程,以指导和规范我省泡沫沥青冷再生路面的设计、施工与检验验收。

1.2 我省近2年来应用主要集中在国省道干线公路大修工程,如嘉兴市01省道平湖段、海盐段和海宁段,320国道桐乡段,湖盐线乌镇支线,杭州市04省道和06省道,湖州318国道,09省道等。在市政道路上也有使用,如嘉兴市经济开发区云海路大修工程和昌盛路路面改造工程,再生路面总里程已超过200公里。国内其它省份在高速公路大修中也有应用,如西宝高速公路、太旧高速公路、京港澳高速公路河南段、连霍高速公路洛三灵段等。表I.1.2给出了我国近年泡沫沥青冷再生试验路段和工程应用项目有关资料。在我省国省道干线公路大修中,泡沫沥青再生层替代了路面结构的下面层,从而减薄了沥青面层的厚度,基本上只做一层沥青面层,并起到了很好的效果。在其它省份高速公路大修中,将泡沫沥青冷再生层用于路面结构的下面层和基层,也相应减薄了沥青面层的厚度。因此,泡沫沥青冷再生层可用于高速公路、一级公路和二级公路沥青路面的下面层及基层,从而充分发挥该技术的经济性。

1.3 厂拌冷再生适用于:

- (1) 标高不宜增加或增加不多(通常小于5cm)的公路;
- (2) 具有较多沥青面层铣刨材料可以使用;
- (3) 路面结构整个面层和大部分基层产生损坏,处理深度较大,而且下承层病害处理面积较大;
- (4) 路面线形需要较大调整,而且路表面平整度要求较高。
- (5) 施工点附近具备合适的铣刨料堆场。

就地冷再生适用于:

- (1) 标高可以增加(通常大于10cm)的公路;
- (2) 路面结构的面层和基层顶部产生损坏,处理深度有限,一般不超过20cm的路面;
- (3) 下承层病害较少,旧路基未见明显病害;
- (4) 路面线形较好,不需要较大调整。

## 4 一般规定

4.2.2 图I.4.2.2给出了南非 Stellenbosh 大学 Jenkins 教授的研究成果,从该图中可以看出较高的拌和与储存温度有助于泡沫沥青裹覆更大粒径的集料,同时由于沥青胶浆的温度也相对较高,其与周围大粒径集料粘结效果也势必明显改善,从而利于材料整体强度和刚度的形成。因此应当尽量选择春末和气温较高季节组织施工。

本条规定的材料温度低于10℃时,不得进行冷再生施工,主要参照澳大利亚的应用经验,即对于就地冷再生施工,路表面下5cm处温度不低于10℃;对于厂拌冷再生施工,原材料料堆的温度不低于10℃。

表 1.1.2 泡沫沥青冷再生试验路段和工程应用项目有关资料

时间	名称	再生方式	结构	泡沫沥青配合比	长度(km)	维修类型
2005.4	西宝高速公路	厂拌	10cm(6+4)沥青+26cm 泡沫沥青	2.5%泡沫沥青；2.0%水泥；28%石屑；70%铣刨料	2.0	大修
2005.5	太旧高速公路	厂拌	(1)19cm(9+6+4)沥青+20cm 泡沫沥青 (2)10cm(6+4)沥青+15cm 泡沫沥青+14cm 水稳	2.5%泡沫沥青；1.5%水泥；13.5%石屑；85%铣刨料	2.0	大修
2005.12	01 省道海宁段	就地	10cm 沥青(4+6)+20cm 泡沫沥青	2.5~3.0%泡沫沥青；1.5%水泥；70%铣刨料；28.5%石屑	1.6	大修
2006.7	04 省道余杭段	厂拌和就地	(1)10cm 沥青+15cm 泡沫沥青 (2)6cm 沥青+15cm 泡沫沥青	2.3%泡沫沥青；1.5%水泥；80%铣刨料；18.5%新料(石屑 50%；碎石 50%)	3	大修
2006.8	01 省道平湖段	厂拌	5cm 改性沥青+15cm 泡沫沥青	2.4%泡沫沥青；1.5%水泥；80%铣刨料；18.5%石屑	6	大修
2006.9	320 国道桐乡段	厂拌和就地	6cm 改性沥青+17cm 泡沫沥青	2.4%泡沫沥青；1.5%水泥；73.5%铣刨料；10%石屑；15%碎石	12	大修
2007.5	湖盐线乌镇支线	厂拌	5cm 改性沥青+15cm 泡沫沥青	2.4%泡沫沥青；1.5%水泥；80%铣刨料；15%石屑；15%碎石	8	大修
2007.7	嘉兴昌盛路	厂拌	5cm 沥青+16cm 泡沫沥青	2.4%泡沫沥青；1.5%水泥；73.5%铣刨料；25%石屑	5	大修
2007.8	01 省道平湖段	厂拌	5cm 改性沥青+15cm 泡沫沥青	2.5%泡沫沥青；1.5%水泥；70%铣刨料；13.5%石屑；15%碎石	20	大修
2007.5	京港澳高速公路河南段	厂拌	10cm 改性沥青+30cm 泡沫沥青	2.5%泡沫沥青；1.5%水泥；73.5%铣刨料；15%石屑；10%碎石	3	大修

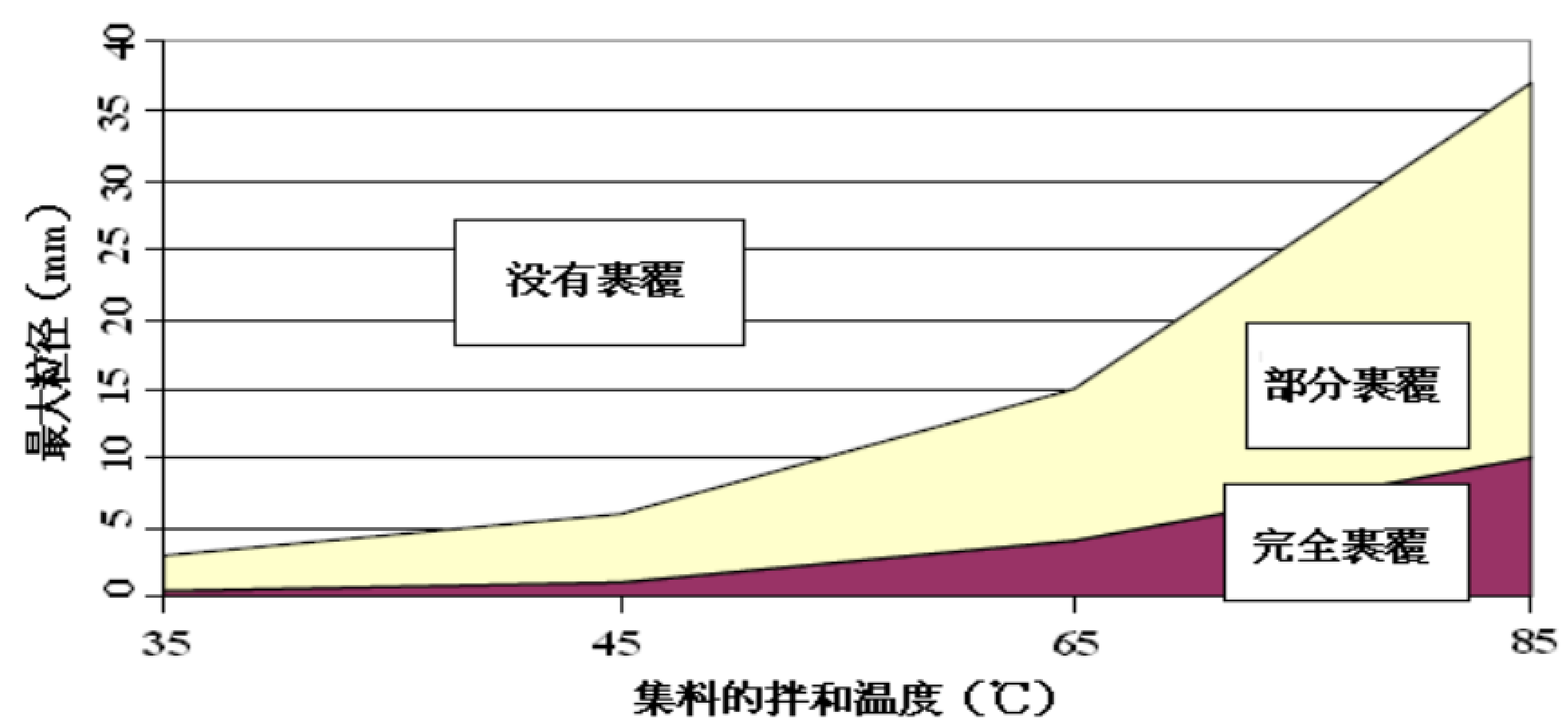


图 1.4.2.2 集料温度对连续级配泡沫沥青混合料裹覆粒径的影响

4.2.3 目前评价沥青发泡效果的主要技术指标为膨胀率和半衰期。沥青的体积膨胀倍数越大，施工和易性越好，在最终成型的混合料中泡沫沥青的分散均匀性越高。半衰期越长，沥青泡沫衰减越慢，施工中能提供的有效拌和时间越长，同样能带来较好的混合料性能。

因此，需要选择膨胀率较大且半衰期较长的发泡条件来制作泡沫沥青。国内外对泡沫沥青膨胀率和半衰期的要求范围不尽相同，见表I. 4. 2. 3-1。

表 I. 4. 2. 3-1 国内外提出的膨胀率和半衰期控制数值

提出学者、机构及时间	膨胀率	半衰期（s）
Ruckel et al(1983 年)与 Acott 与 Mybuigh（1983 年）	8~15	20
CSIR(1998 年)	10	12
AustStab（2003 年）	10	实测
Ruckel et al（1983 年）	8~15	20
IOWA(2006 年)	10	10
同济大学（2006 年）	10	10

我省常用沥青发泡试验结果如表 I. 4. 2. 3-2 所示。

表 I. 4. 2. 3-2 不同沥青最佳发泡条件对比

沥青	沥青温度 (℃)	发泡用水量 (%)	膨胀率 (倍)	半衰期 (s)
韩国 AH-70	150	4.0	20	11
镇海 AH-70	160	3.0	16	9
壳牌 AH-70	150	1.5	11	12
中海 AH-70	150	1.5	13	11
中油 AH-90	160	1.5	16	11

综合以上考虑，本条规定最低发泡条件为膨胀率为 10 倍，半衰期为 10 秒。

4.2.4 根据室内研究和实践证明，泡沫沥青的分散均匀性是影响泡沫沥青混合料性能的最关键因素。若混合料中出现结团或沥青丝，说明泡沫沥青没有均匀分散。例如某省道厂拌冷再生施工过程中，由于沥青喷嘴堵塞导致泡沫沥青冷再生混合料出现结团现象，排除故障后生产的泡沫沥青冷再生混合料劈裂强度比出现结团的混合料劈裂强度提高了约 30%。此外，由于泡沫沥青的分散不均匀，还会导致混合料的密度变小，空隙率变大和水稳性变差等问题。

4.2.5 室内试验证明：由于水泥的存在，延迟成型时间会对混合料强度造成一定影响，延迟 3 个小时，其强度会降低至初始强度的 93%左右，模量为 88%，24 小时为 91%左右，模量为 86%，60 天后强度为 82%左右，模量为 81%。马歇尔试件的高度会随泡沫沥青再生混合料成型时间的延迟而有所增加，当水泥终凝完成之后，混合料实际上无法达到规定的压实度。因此对于掺加水泥的泡沫沥青混合料应当尽快完成压实工作，以保证混合料力学等指标损失最小。

4.2.6 根据国内外的工程应用经验，泡沫沥青冷再生材料具有较高的早期强度。同时参照国外有关泡沫沥青冷再生技术规范，如澳大利亚稳定工业协会认为沥青稳定类材料具有很长的强度增长期，有时会超过 1 年的时间。然而，对于泡沫沥青稳定材料，通常会在压实成型后就获得足够的强度，可以立即开放交通。结合省内外工程应用实践，因此本条提出泡沫沥青冷再生层压实成型后，可以立即开放交通，但应限制重载车辆的通行。

对于泡沫沥青冷再生混合料，采用室内不脱模养护室温 1 天+脱模 25℃通风烘箱养护 60 天的养护方法，可以发现通过第 1 天的不脱模养生和随后第 2 天脱模通风烘箱养生，可使得混合料中 60%的水分蒸发，劈裂强度达到最大强度的 60%左右。因此实际施工中，当泡沫沥青冷再生层碾压完毕后，应当根据天气情况，通过适当的晾晒使得材料的含水量低于拌和时含水量的 40%以下，一般气温在 25℃以上时需要 2 天，气温低时，还要适当延长，从而使得再生材料具有较高的初期强度。

## 5 冷再生路面设计

5.1 对原路面进行开挖，一是可以进一步了解路面结构的情况；二是通过承载板试验，确定路面不同铣刨深度的回弹模量，以便进行结构设计；此外，测试坑挖出的材料，还可以用于材料的室内分析与设计。

对于划分的每个路段，必须选取至少一处进行开挖。开挖可以选择在该路段具有代表性的行车道位置。

(1) 当拟采用就地冷再生时，对路面开挖宜采用就地再生设备进行，依据一定的深度分别铣刨，例如第一次铣刨整个沥青层；第二次铣刨整个沥青层加 3~5cm 基层；第三次铣刨整个沥青层加 5~10cm 基层；第四次铣刨整个沥青层加 10~15cm 基层。对于每种不同铣刨深度，均应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。

如果前期调查没有条件使用就地再生设备时，可以采用小型铣刨设备进行开挖，小型铣刨设备不能一次达到铣刨深度时，可以分层铣刨。

对各铣刨深度的材料分别提取代表性试样。当使用小型铣刨机铣刨时，取样时应当将分层铣刨的材料按照厚度比例进行混和后，再进行室内有关材料试验。

(2) 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，例如先铣刨整个沥青层，然后铣刨至 3~5cm 基层，再铣刨至 5~10cm 基层，最后铣刨至 10~15cm 基层。对于每个铣刨深度，均应进行承载板测试，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。

如果前期调查没有条件使用大型铣刨设备时，可以采用小型铣刨设备进行开挖，小型铣刨设备不能一次达到铣刨深度时，可以分层铣刨。

取样时应当将分别铣刨的材料按照厚度比例进行混和后，再进行室内有关材料试验。

5.2.1 当泡沫沥青冷再生层用于三、四级公路的上面层时，由于泡沫沥青冷再生混合料属于常温下的沥青稳定材料，粗集料之间的粘结力不足，会导致表面在行车荷载及水的作用下产生松散及集料剥落现象，使路面产生早期损坏。因此，泡沫沥青冷再生材料在作为三、四级公路的上面层时，应作上封层处理。

5.2.2 泡沫沥青冷再生路面实践中主要应用于公路路面大修及改扩建工程，本规程中的泡沫沥青冷再生路面设计基本参照《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2006)中的改建路面设计方法，并依据泡沫沥青冷再生混合料有关参数确定相关的路面结构设计参数。

关于  $A_b$  的取值，现行规范在“条文说明”中指出采用柔性结构层和半刚性基层组合而成混合式基层的路面，是从柔性向半刚性过渡的结构， $A_b$  的取值应介于 1.0~1.6，可以采用内插法确定。根据国内有关研究成果，泡沫沥青冷再生材料更接近于柔性材料的性质，其用于路面结构层时更趋于柔性基层的结构特性。但毕竟泡沫沥青在国内的研究和应用时间较短，难以建立  $A_b$  值与路面长期使用性能的准确关系，依据目前现有成功实施的工程项目路面结构的弯沉检测结果，将  $A_b$  值取为 1.6 可以满足使用要求。

根据同济大学对泡沫沥青冷再生混合料的疲劳性能研究成果，选取式 (5.2.2-1) 的疲劳方程。

$$N = 320 \sigma^{-2.33} \quad (5.2.2-1)$$

式中：

$N$  — 为疲劳寿命，次；

$\sigma$  — 应力比。

考虑间歇时间、裂缝扩展时间、轮载横向分布、不利季节天数及现场受力等因素的基础上，对该疲劳方程进行修正，得到的泡沫沥青冷再生混合料的疲劳方程为式(5.2.2-2)。

$$N = 403200 \sigma^{-2.33} \quad (5.2.2-2)$$



抗拉强度结构系数  $K_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_R}$ ，其中， $\sigma_s$ —泡沫沥青冷再生混合料的劈裂强度，MPa； $\sigma_R$ —泡沫

沥青冷再生层容许拉应力。

$$\text{当 } \sigma = \frac{1}{K_s} \text{ 时, } N = 403200 \left( \frac{1}{K_s} \right)^{-2.33}, \text{ 即 } K_s = 0.0039 N^{0.43}$$

考虑公路等级不同的影响，泡沫沥青的弯拉强度结构系数可以表示为式（5.2.2-3）。

$$K_s = \frac{0.0039}{A_c} N_e^{0.43} \quad (5.2.2-3)$$

式中：

$A_c$ —公路等级系数，高速公路、一级公路为 1.0，二级公路为 1.1，三、四级公路为 1.2。

条文中推荐的泡沫沥青冷再生路面结构的几种厚度形式，主要是在国内外泡沫沥青冷再生路面成功应用案例调研基础上总结得出，其中高速公路路面结构参考了京港澳高速公路河南段、连霍高速公路河南段以及西宝高速公路、西阎高速公路、西禹高速公路及西潼高速公路应用项目；一级公路和二级公路主要参考我省 320 国道、01 省道、04 省道、湖盐线乌镇支线、09 省道等应用项目。

根据有限元分析方法对泡沫沥青冷再生路面不同路面结构的力学特性对比分析，当再生层下承层当量回弹模量大于 150MPa 时，再生层、沥青面层内最大剪应力随原路面当量回弹模量( $E_0$ )增大而变化很小。但若  $E_0$  减小至 100MPa 时，基层和面层内剪应力大大增加。由此说明，再生层下承层强度过低，泡沫沥青再生路面容易产生剪切破坏。

此外结构分析结果表明，基层厚度不宜低于 12cm，否则路表弯沉、路基顶面压应变、基层层底拉应变、层底拉应力都将达到较大值，路用性能大大降低。

## 6 冷再生施工

**6.1.3** 泡沫沥青冷再生混合料是以泡沫沥青作为主要稳定剂，在使用过程中通常会添加一些活性填料，例如水泥、石灰等，这些无机结合料会改善再生混合料的性能，例如水稳定性等。但是根据国内外研究表明，这些材料的使用量必须控制在一定范围。例如对于水泥用量，通常不能大于 2%。如果这些添加材料的用量超过规定的用量，由此可能会引起材料的一些性能发生较大改变，例如材料的脆性和干缩性能等增大。

**6.1.4** 根据泡沫沥青再生混合料的强度形成机理以及试验研究结果表明，为了使泡沫沥青再生混合料获得足够的早期强度，混合料中应含有充足的细料。因此，在国外的相关技术规范中，均要求泡沫沥青再生混合料中含有较多的细料。如，Maccarrone（1994 年）建议采用泡沫沥青稳定的再生混合料中 0.075mm 筛的通过率至少为 8%。Ruckle 等（1983 年）建议泡沫沥青混合料中 0.075mm 筛的通过率在 5% 以上。1988 年，Akeroyd 和 Hicks 提出了适合泡沫沥青稳定材料级配范围，见图 I.6.1.4 中的级配上限和级配下限。在这个级配范围中，0.075mm 的通过率上限高达 20%，远远高于热拌沥青混合料中对细料上限的规定。

图 6.1.4 中的级配上下限也被包括维特根冷再生手册在内的专业著作多次引用。根据他们的使用经验，如果混合料级配组成曲线如落在这个级配范围中，表明该混合料适合于用泡沫沥青进行稳定，并可用于重交通道路；如果混合料级配落在级配上限的上方，说明该混合料中的细集料偏多，仅适用于轻交通道路使用；如果混合料级配落在级配下限的下方，则说明该混合料中缺少细料，使得泡沫沥青稳定效果变差，需要加入适量的细集料进行调整，以改善泡沫沥青的稳定效果。

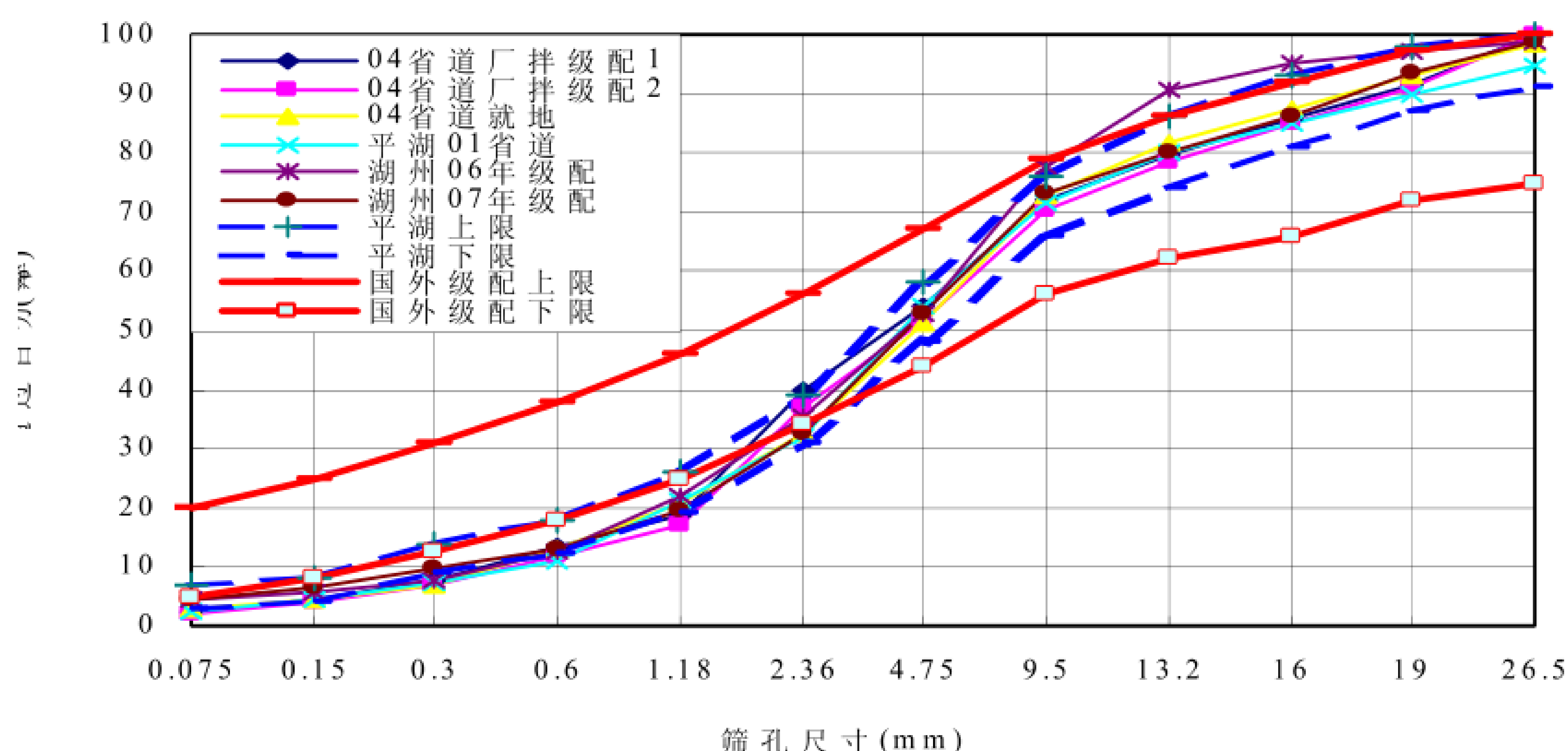


图 1.6.1.4 泡沫沥青冷再生混合料的级配

泡沫沥青再生技术在我国的应用尚处于起步阶段，省外一些试验路工程中主要是套用图 I.6.1.4 中的级配范围进行泡沫沥青混合料配合比设计。然而，在我省泡沫沥青冷再生混合料配合比设计的过程中发现，大多数铣刨料中的细集料偏少，即使是加入高达 30% 的新细集料，仍然难以满足到图 I.6.1.4 中对细集料用量的要求。在相关资料调研的过程中，也发现相似的问题。图 I.6.1.4 给出了所收集到的我省几条试验路上泡沫沥青再生混合料的级配组成曲线，这些混合料的粗集料级配均落入级配范围之内。而细集料，尤其是粒径小于 1.18mm 的细料级配则大多落在级配下限之外，即这些再生混合料是显著偏粗的。另一方面，在相关试验研究中发现，虽然这些混合料的级配偏粗，不能满足图 I.6.1.4 的级配范围要求，但是其性能和强度等指标却能够满足技术要求。

有鉴于此，在本次的规程编制时，考虑到我省项目应用的实际情况和效果，并参照图 I.6.1.4 中的所收集的试验路混合料级配分布情况，将细集料的级配下限曲线降低。

对于存在超粒径颗粒的铣刨料，应将铣刨料分成以下四个部分：

- (1) 粒径大于 31.5mm 的材料；
- (2) 粒径在 19~31.5mm 之间的材料；
- (3) 粒径在 13.2~19mm 之间的材料；
- (4) 粒径在 4.75~13.2mm 之间的材料；
- (5) 粒径小于 4.75mm 的材料。

将全部通过 31.5mm 的材料，再按照筛分结果重新组合成代表性试样，并用 19~31.5mm 这档材料代替 31.5mm 以上的材料，具体方法可参照见表 I.6.1.4。

表 1.6.1.4 代表试样重新组合

筛分结果		10kg 旧混合料各档材料用量			
筛孔尺寸(mm)	通过率(%)	<4.75mm	4.75~13.2mm	13.2~19mm	19~31.5mm
31.5	97.5	$(53.6/100 \times 10000) = 5360\text{g}$	$(72.3 - 53.6)/100 \times 10000 = 1870\text{g}$	$(85.5 - 72.3)/100 \times 10000 = 1320\text{g}$	$(100 - 85.5)/100 \times 10000 = 1450\text{g}$
19.0	85.5				
13.2	72.3				
4.75	53.6				

可将重新组合成代表性试样的铣刨料进行筛分，并进行后续的混合料设计。



6.1.5 关于泡沫沥青混合料最佳拌和用水量的确定方法，国外进行了许多研究。

(1)美孚石油公司的研究表明，混合料的最佳拌和用水量处于集料的“疏松点”。“疏松点”是指在此含水量下，集料具有最大松散度体积。并根据当时的资料，认为最佳拌和用水量应在 Mod AASHTO 最佳含水量的 70%~80%范围内。

(2)Lee 通过对不同级配泡沫沥青混合料在不同拌和用水量下的性能研究发现，对于每一种级配混合料，存在一个最佳拌和用水量，并在最佳拌和用水量下混合料的马歇尔稳定度最大。最后对不同级配混合料最佳拌和水量总结后认为，最佳拌和水含量应为修正 AASHTO 最佳含水量的 65%~85%。

(3)借鉴乳化沥青混合料中最佳液体总含量的概念，Castedo Franco 和 Wood 在泡沫沥青混合料中也引入了总液体含量的概念。这种概念考虑到了除水外还有粘结剂的润滑作用，这样混合料达到最大压实度时，实际的拌和水含量就要相应减少。并认为当总流质（水+沥青）含量大约等于 OMC（修正的 AASHTO 最佳含水量）时，可以达到最佳压实度。

(4) Skar 和 Manke 利用统计方法，从不同级配混合料中得出了最佳拌和用水量的公式(6.1.5)。

$$MMC = 8.92 + 1.48 OMC + 0.4 PF - 0.39 BC$$

(6.1.5)

式中：

MMC—最佳拌和用水量，%；

OMC—对于修正的 AASHTO 最佳含水量，%；

PF—集料的细料百分率，%；

BC—沥青含量，%。

（5）同济大学的研究表明，在不同拌和用水量下，不同级配的泡沫沥青混合料出现了十分类似的规律，即在拌和水量低于集料最佳含水量的 70%时，泡沫沥青不能有效分散，此时泡沫沥青混合料的物理力学特性最差。在 80%拌和用水量时，泡沫沥青得到了充分分散，沥青结团现象消失，材料的物理力学性能最佳。在超过 90%拌和用水量时，混合料物理力学特性有所降低。

综上所述，本规程推荐泡沫沥青冷再生混合料的最佳拌和用水量为集料最佳含水量的 80%。

6.1.9 泡沫沥青冷再生混合料的性能指标，既考虑了国外普遍使用基于马歇尔试件的劈裂强度及水稳性的指标，又考虑使用国内沥青材料普遍使用的马歇尔稳定度和流值指标。这样既可以与国际接轨，参照国外有关应用经验；又可以将泡沫沥青冷再生材料与热拌沥青材料的马歇尔指标相比照。同时，基于应用过程中，泡沫沥青冷再生层作为承重层，还要满足一定的结构承载强度，因此需要考虑泡沫沥青冷再生混合料的抗压强度要求。此外，由于泡沫沥青冷再生层通常会起到沥青路面面层的功能，一些应用项目会考虑泡沫沥青冷再生层的抗车辙性能，因此需要检验材料的动稳定度指标。

用于马歇尔试验、干湿劈裂强度试验的试件，拌和、成型及养生方法应参照附录 B。马歇尔试验步骤应参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》T0709 的规定进行，干湿劈裂强度试验及干湿劈裂强度比的计算方法应参照附录 C。

无侧限抗压强度试验方法应参照附录 D。

车辙试验方法应参照附录 E。

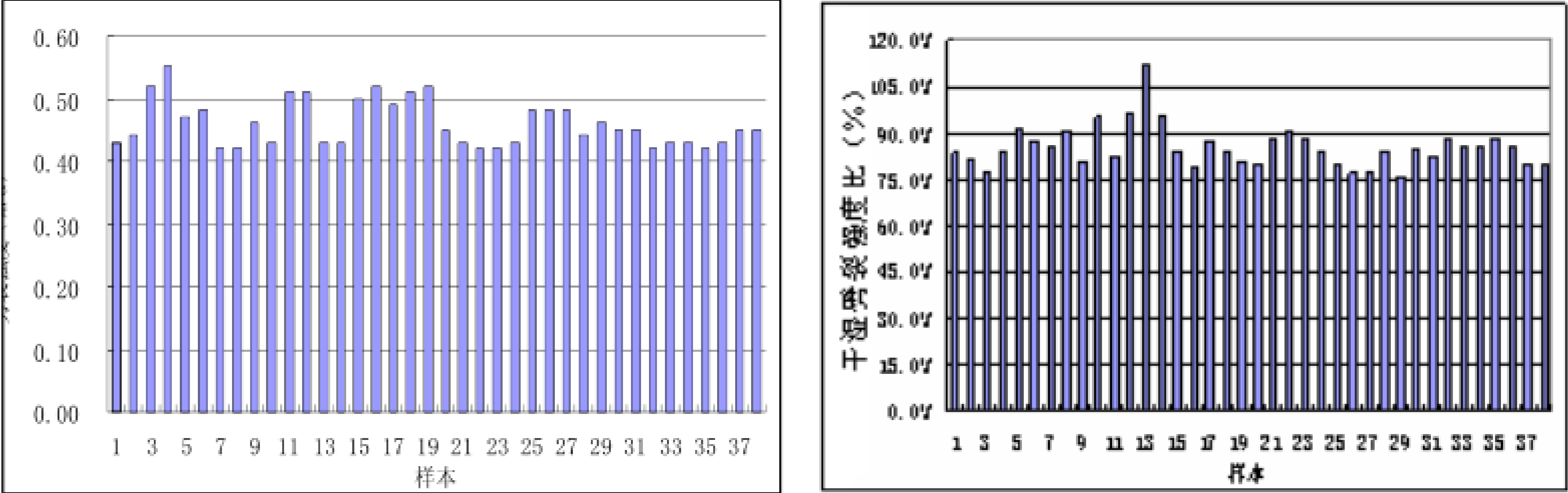


图 1.6.1.9-1 07 年 01 省道平湖段

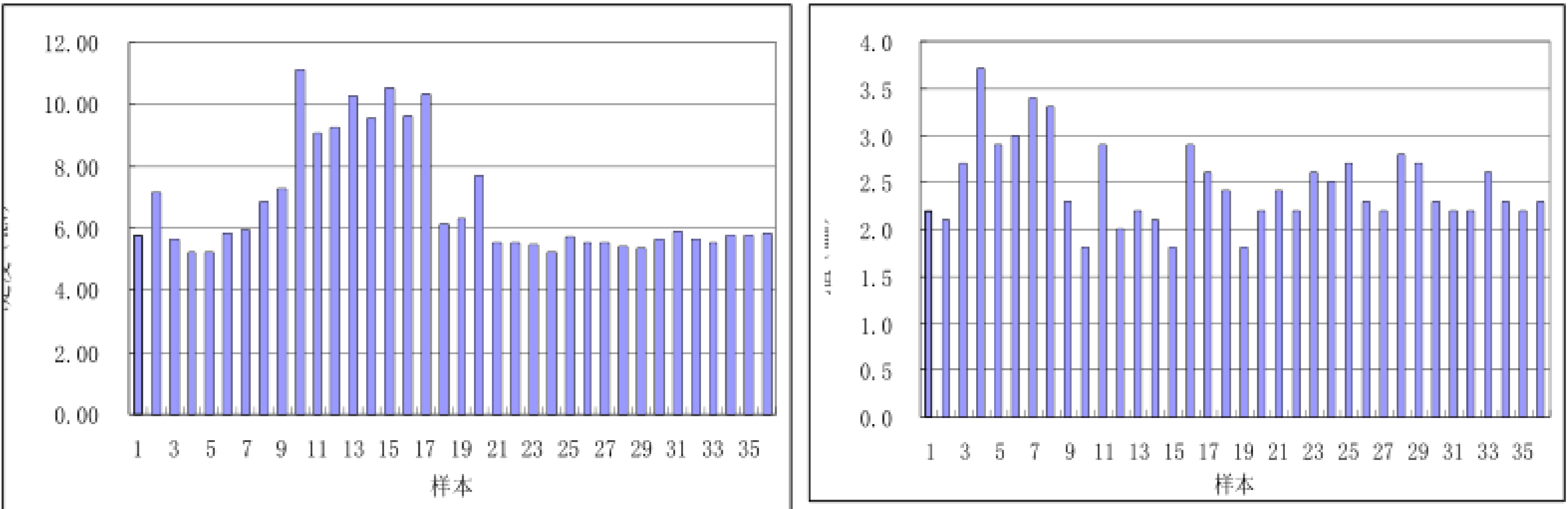


图 1.6.1.9-2 07 年 01 省道平湖段

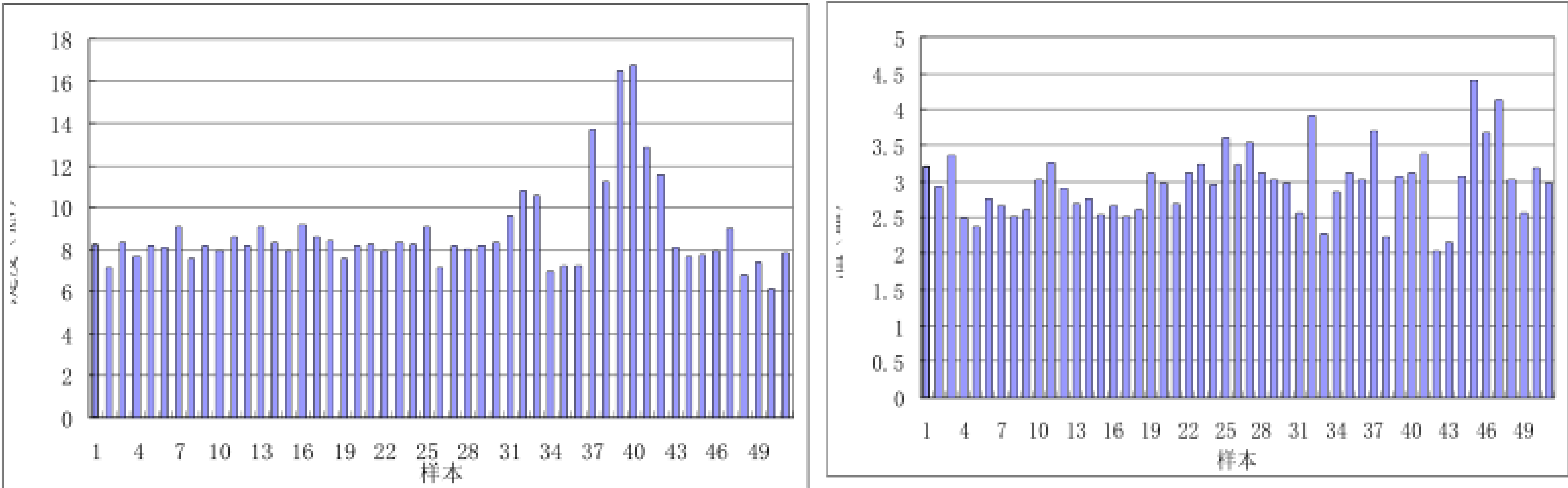


图 1.6.1.9-3 07 年河南省京港澳高速公路

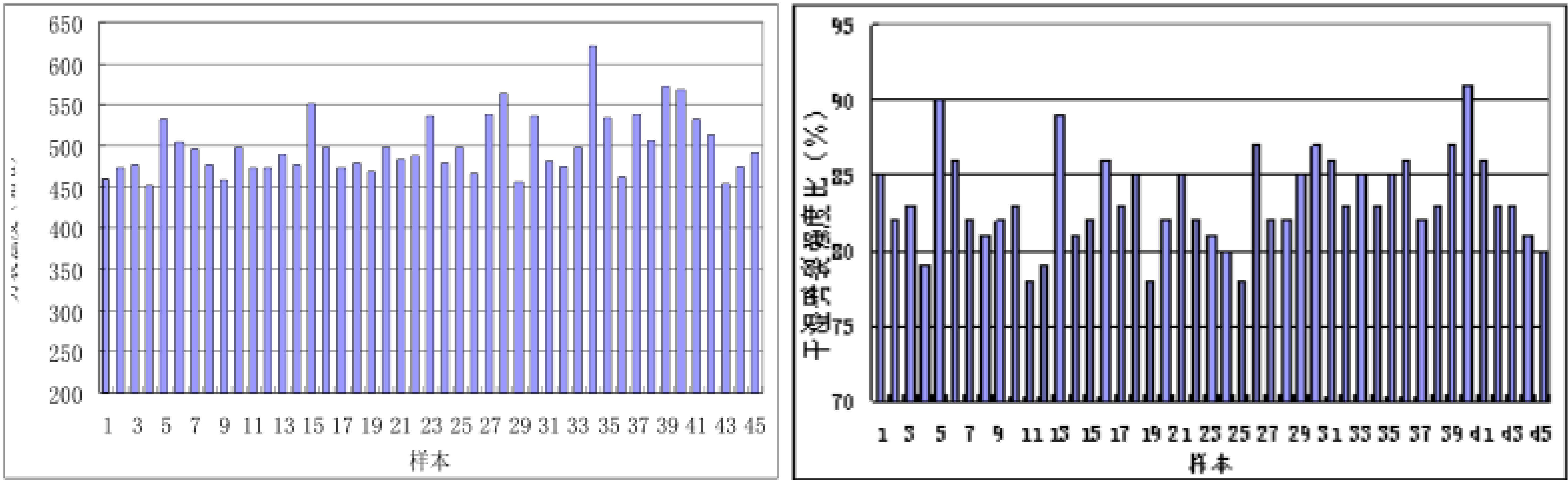


图 1.6.1.9-4 07 年河南省京港澳高速公路

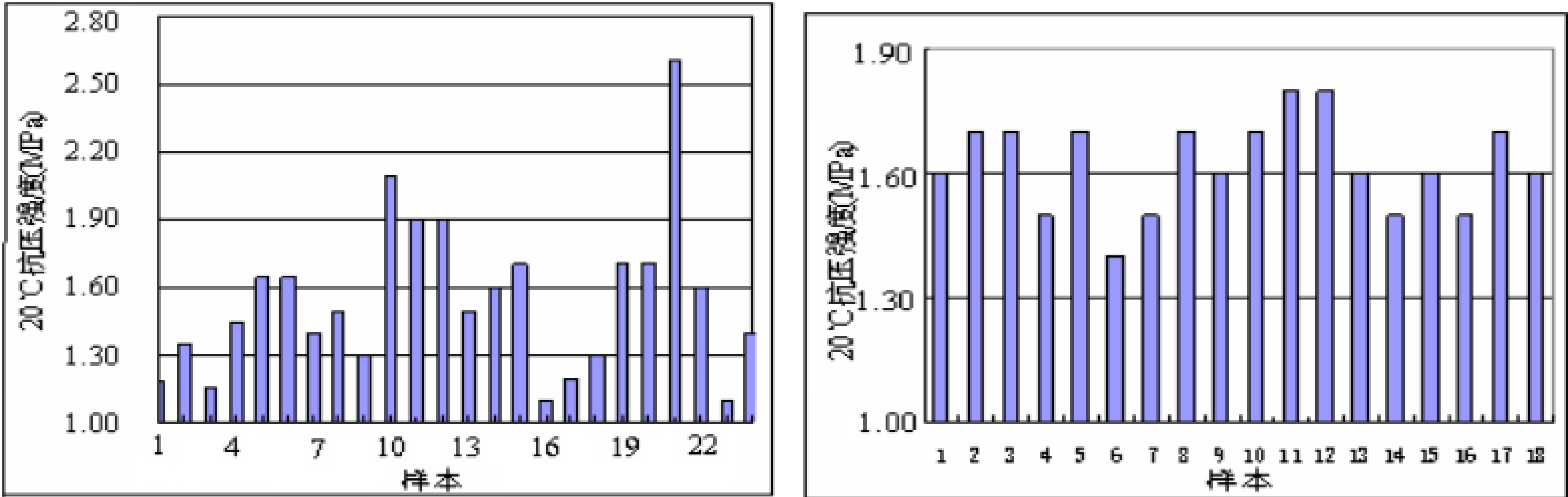


图 1.6.1.9-5 06 年 04 省道（左图）和 06 年 320 国道桐乡段（右）

基于这些指标的要求，以各交通量公路应用的检测数据为基础，如下图 I.6.1.9-1~I.6.1.9-5 所示，根据数据统计分析的方法，归纳出各交通量公路泡沫沥青冷再生材料的性能要求。

表 1.6.1.9 有关应用项目车辙试验结果

应用项目	动稳定度 DS ( 60℃)	交通量
05 年 01 省道海宁段	5880	中等交通
06 年 01 省道平湖段	6300	中等交通
07 年 01 省道海盐段	10500	中等交通
07 年京港澳高速公路	6923	重交通

6.1.10 同济大学通过室内混合料成型圆柱体试件，在试件顶面施加垂直荷载。测定的不同级配泡沫沥青混合料无侧限抗压模量（20℃）范围在 800MPa~1100MPa 之间。

长安大学在 2005 年西宝高速公路泡沫沥青冷再生试验段的研究中，得出室内混合料的无侧限抗压模量为 974MPa。现场芯样的无侧限抗压模量为 851~1211MPa。室内试验采用圆柱体试件，在试件顶面施加垂直荷载。

表 I.6.1.10 给出了我省部分泡沫沥青冷再生路面，通过取芯得出圆柱体试件，并经过测试得出的无侧限抗压模量的数据，数据表明其数值范围在 500~900MPa。

表 1.6.1.10 泡沫沥青冷再生路面现场芯样无侧限抗压模量

工程名称	编号	含水量	无侧限抗压模量(MPa)
06 年 01 省道平湖段	1	4.50%	537
	2	4.28%	603
	3	3.73%	592
	4	3.20%	620
	5	4.12%	690
	6	3.67%	636
07 年 01 省道平湖段	7	3.26%	705
	8	4.28%	694
	9	3.78%	633
05 年 01 省道海宁段	10	4.56%	516
	11	5.50%	523
	12	5.86%	568
06 年 320 国道桐乡段	13	4.24%	579
	14	2.08%	860
	15	1.73%	870
	16	1.59%	699
	17	1.94%	730

图 I.6.1.10 为泡沫沥青冷再生混合料试件经养生后，在 15℃ 条件下测得的 3 组级配试件干劈裂强度随沥青含量的变化情况。从图中可以看出，在 15℃ 测试条件下，泡沫沥青冷再生混合料的劈裂强度范围为 0.3~0.8MPa。

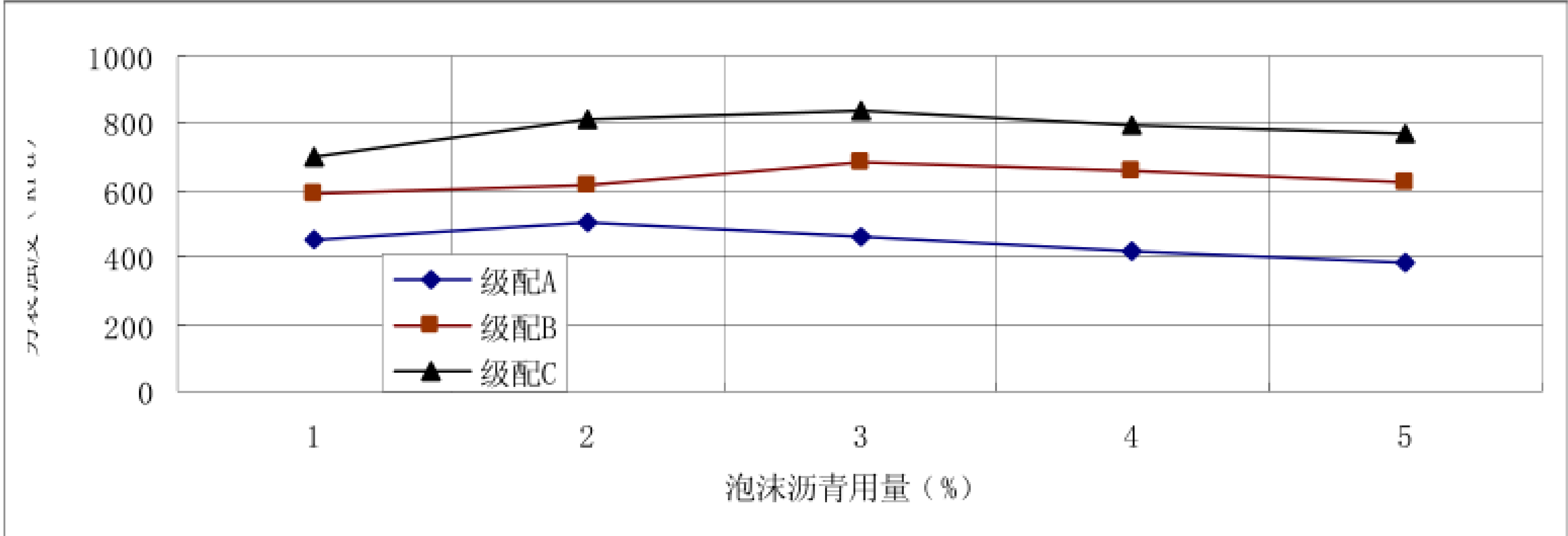


图 1.6.1.10 泡沫沥青冷再生混合料的干劈裂强度的变化关系(15℃)

6.2.4 集料级配是决定混合料路用性能的重要因素,而再生材料的原材料主要来自于旧路面铣刨料。铣刨料经专门的铣刨设备对旧沥青路面铣刨获得,因此铣刨设备种类、铣刨速度、铣刨温度、原路面级配都会影响到铣刨料的级配。

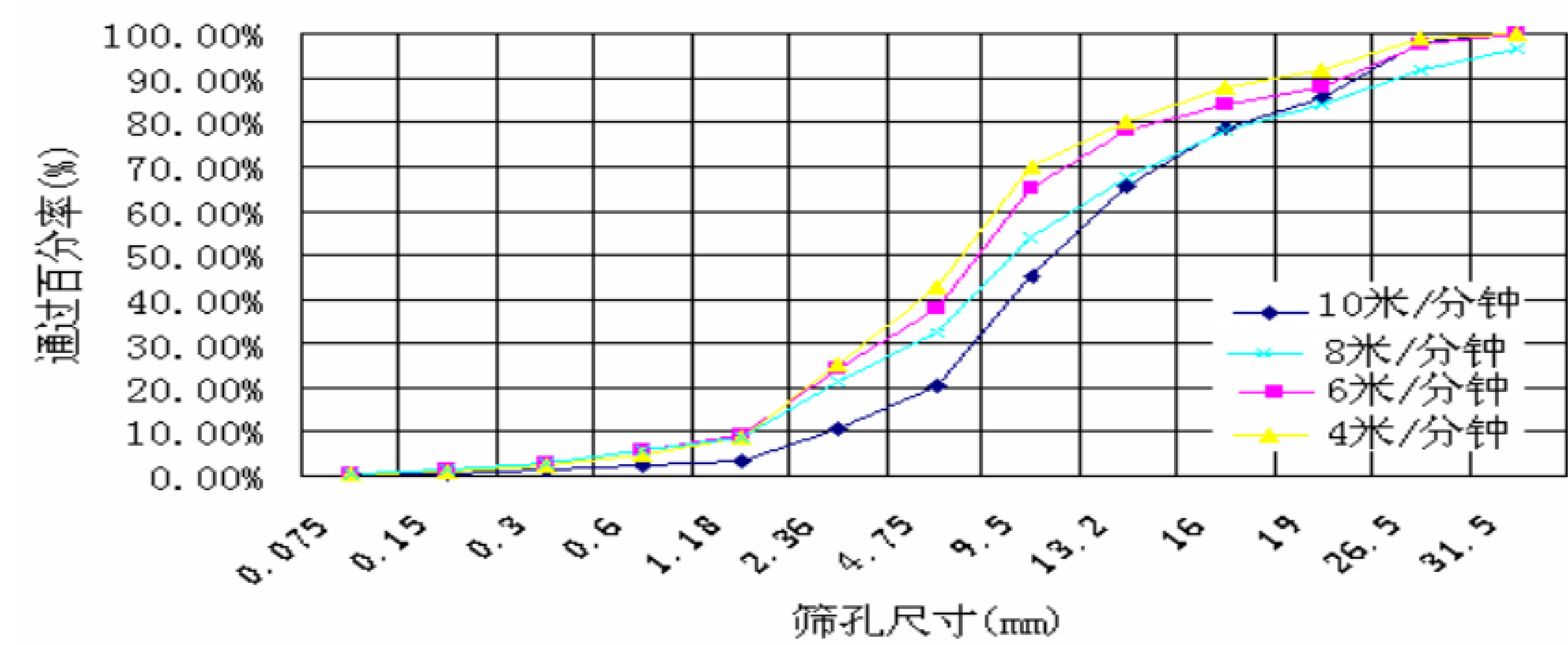


图 1.6.2.4 不同铣刨速度下铣刨料的级配曲线

图 I.6.2.4 是不同铣刨速度下各组铣刨料级配的筛分结果,从图中可以看出:随着铣刨速度的减小,铣刨料级配存在逐渐变细的趋势。虽然影响铣刨料级配的因素很多,但是在铣刨设备、维修路段等客观因素都确定的前提下,铣刨速度是影响铣刨料级配的重要因素。

在旧路面全面铣刨前,应选择不同铣刨速度进行试验,并通过对不同铣刨材料进行筛分,对比泡沫沥青混合料的目标级配范围,来选择适宜的铣刨速度。

6.2.5 以下给出了常见病害处理的推荐方法和要求。

(1) 裂缝长度超过 4.5m,可铺设聚酯玻纤网。施工方法为先喷洒乳化沥青,再铺设 1m 宽聚酯玻纤网,长度与缝同长。

(2) 横向裂缝长度不超过 4.5m,但缝宽大于 4mm,也需铺设聚酯玻纤网。

(3) 弯沉单点值大于设计值时,处理方法为铣刨长度为 10m(前后各 5m)、深度在已铣刨面的基础上再向下铣刨、宽度达到整幅路宽。

(4) 网裂严重段(面积大于 4m<sup>2</sup>或裂缝宽度超过 4mm 或裂缝条数大于 5 条)的处理方法为在已铣刨面的基础上再向下铣刨,填料可采用水泥稳定碎石或泡沫沥青冷再生混合料,新老缝交界处加铺 1m 宽聚酯玻纤网。

(5) 网裂不严重段的处理方法同(1)。

(6) 补丁的处理方法。如补丁完整,采用纵向加铺聚酯玻纤网,前后两端各增加 2m、与补丁同宽;



如补丁已破碎处理方法同（4）。

6.2.10 泡沫沥青冷再生层的具体压实施工流程，可以依据试验路段进行具体确定，确定方法主要考察再生层的压实度、表面的密实情况以及压实的效率等因素。

泡沫沥青冷再生层的终压应采用轮胎压路机进行压实，而且压实前如果再生层表面干燥，应适当洒水，使再生层表面湿润。这样在轮胎压路机的揉搓作用下，混合料中的细集料会唧出，从而使得再生层表面更加致密。

6.3 就地冷再生施工工艺主要考虑轮胎式不带熨平板的就地再生设备。对于履带式带熨平板的就地再生设备，可根据设备的特点做适当调整。

6.3.3 就地冷再生施工前的病害处理比较困难。通常只对强度不足和严重沉陷的区域进行处理。处理的方法可以事先通过再生机进行铣刨，将铣刨的材料暂时堆放在一边，然后再对下承层进行挖除和换填处理，最后再将铣刨的材料回铺至原处。

## 7 施工质量管理与检查

众多应用项目实践表明泡沫沥青冷再生施工对一些关键设备的依赖性很强，尤其是专用冷再生设备在对工程质量影响至关重要，因此本规程中增加了对关键设备的管理与检查。考虑到目前泡沫沥青冷再生施工中，主要是以进口维特根公司的设备，因此厂拌再生设备主要参照 KMA200；就地再生机主要参照 WR2500S 和 WR2000。

原材料的质量管理与检查，主要参照了《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40—2004）和《公路路面基层施工技术规范》（JTJ 034—2000）中有关原材料质量管理与检查的内容、方法与频率，同时考虑了冷再生施工的特点，增加了铣刨材料的质量检查以及沥青发泡效果的检查。

再生混合料的质量管理与检查，主要是结合泡沫沥青冷再生混合料的特点，强调泡沫沥青混合料的外观，即沥青的分散状态，并考虑了含水量的检测。在对于沥青用量检测，考虑到对于再生料的变异性和抽提试验的复杂性，在允许偏差范围上做了适当调整，并在条件允许的情形下，可以采用总量控制的方法。同时在对于水泥用量检测，考虑到对于再生料的变异性和滴定试验有时无法实现的情况，在允许偏差范围上做了适当调整，并在条件允许的情形下，可以采用总量控制的方法。

## 8 工程质量的检验评定

再生层质量的检验评定，主要参考《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1-2004）、《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40—2004）和《公路路面基层施工技术规范》（JTJ 034—2000）中的有关标准，对于纵断面高程、横坡度和平整度三项指标，考虑到泡沫沥青冷再生在目前实际应用过程中部分代替了沥青下面层的功能，从而沥青面层设计厚度得以减薄，许多项目的路面结构设计只设置了一个上面层，因而对泡沫沥青冷再生层上述三项检查项目的技术指标提出了更高的要求；对于压实度指标，参照国外应用经验，以及室内试验研究成果和工程应用情况，认为冷再生层的压实度对再生层质量产生关键性的影响，因此将再生层压实度的代表值高速公路及一级公路定为 98%，二级及以下等级公路定为 97%。