

常温拌和沥青混合料开发及应用

徐世法 北京建筑大学

广州 2015.12

汇报内容

一. 项目背景与现状

二. “柔刚柔” 路面结构

三. 冷拌料材料组成与优势

四. 冷拌冷铺施工指南

五. 设计实例

一. 项目背景与现状

问题与解决方案

大流量

交通压力繁重
行车流量大



多病害

车辙、开裂
水损坏等病害



重交通

重型载货车多
超载危害严重



重载 高速

冷拌混合料抗滑表层和
防水联结层

“柔刚柔”路面结构

二. “柔刚柔” 路面结构

1

传统路面结构介绍

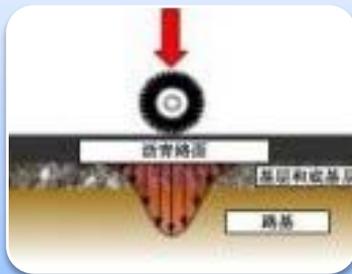
2

“柔刚柔” 路面结构特点

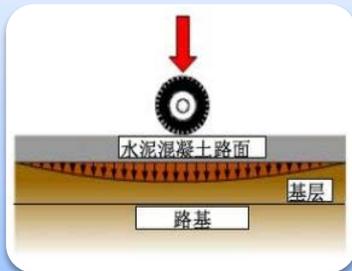
3

柔性联结层方案比选

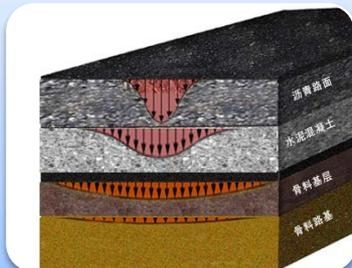
1. 传统路面结构介绍



柔性路面:是一种总体刚度小,抗弯拉强度低,在车辆荷载下产生较大弯沉变形的路面结构。常见路面材料类型:沥青面层、碎(砾)石面层、块石面层等



刚性路面:是一种弯拉强度高、刚性大、竖向弯沉小的路面结构。主要路面材料类型:水泥混凝土面层



“柔刚柔”路面:是柔性路面+刚性路面+柔性路面的结构组合体。它兼具柔性路面与刚性路面的优点,是一种路用性能极佳的**长寿命路面结构**

1. 传统路面结构介绍



柔性路面优缺点

优点

表面平整、行车舒适

施工期短、通车快

修复简便、周期短

缺点

热稳定性差、易老化

易产生车辙、开裂等病害



刚性路面优缺点

强度高、稳定性好

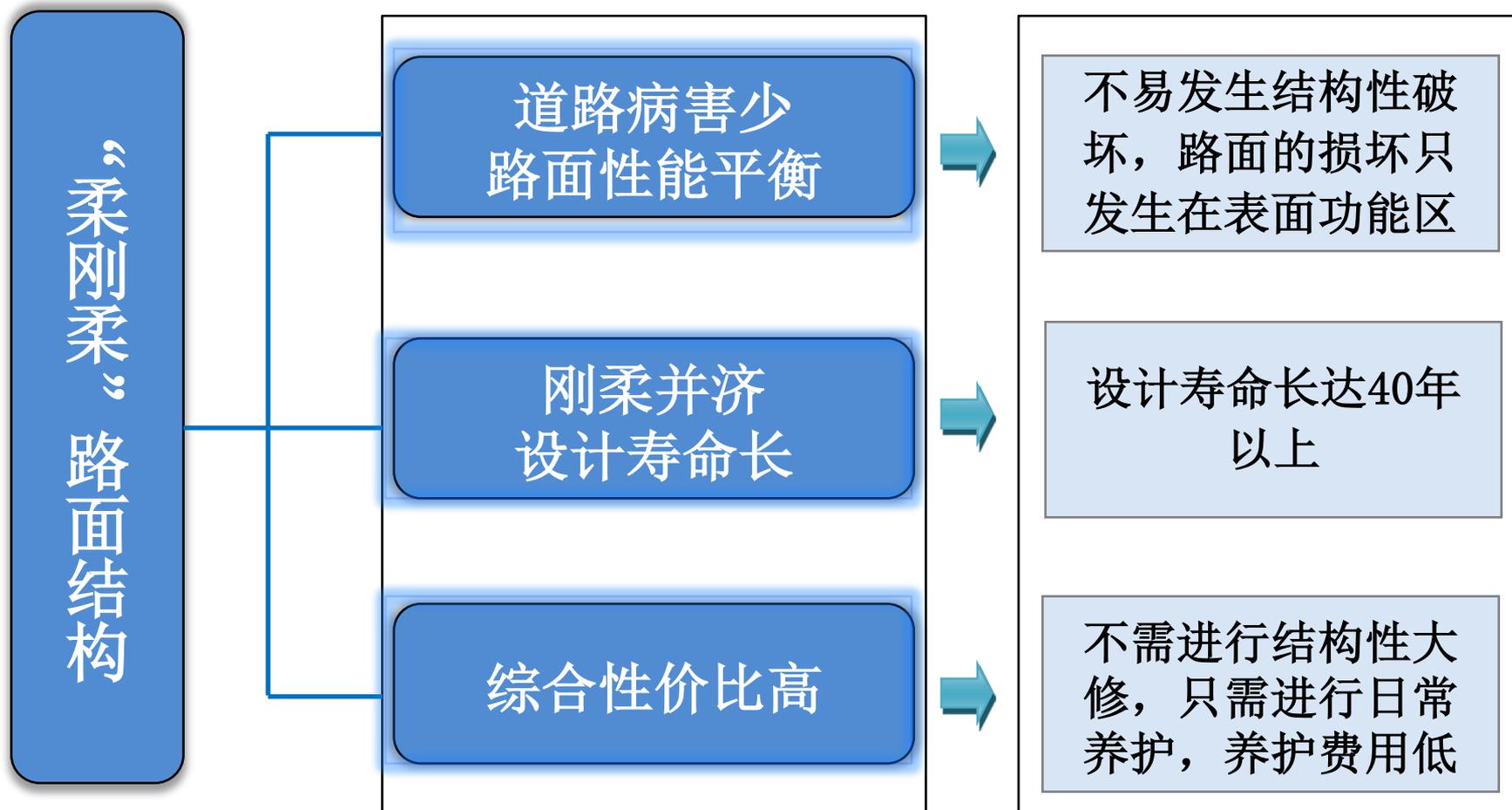
常温施工、不需要加热

使用寿命长

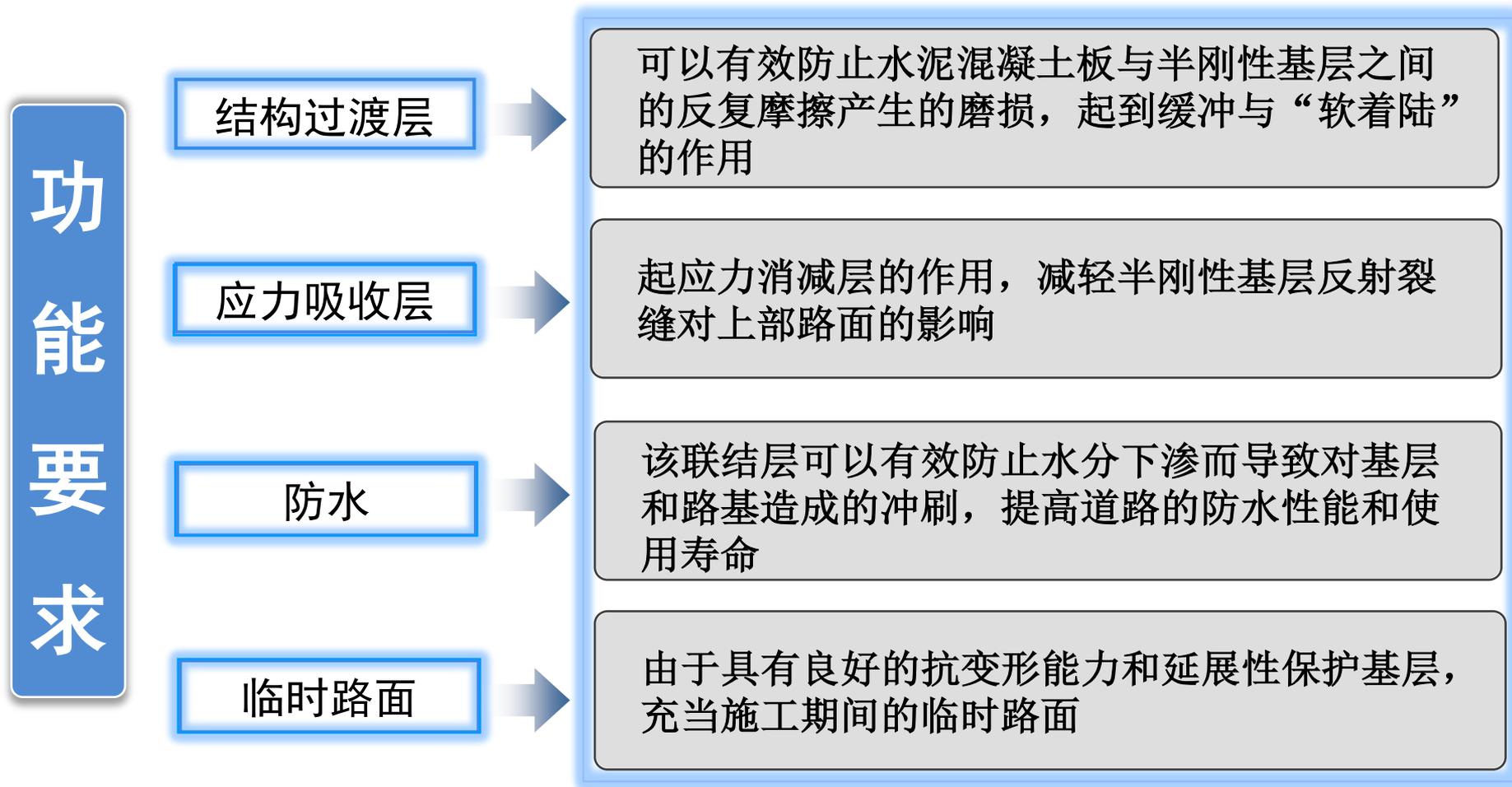
路面有接缝、舒适度差

易产生损坏、修复周期长

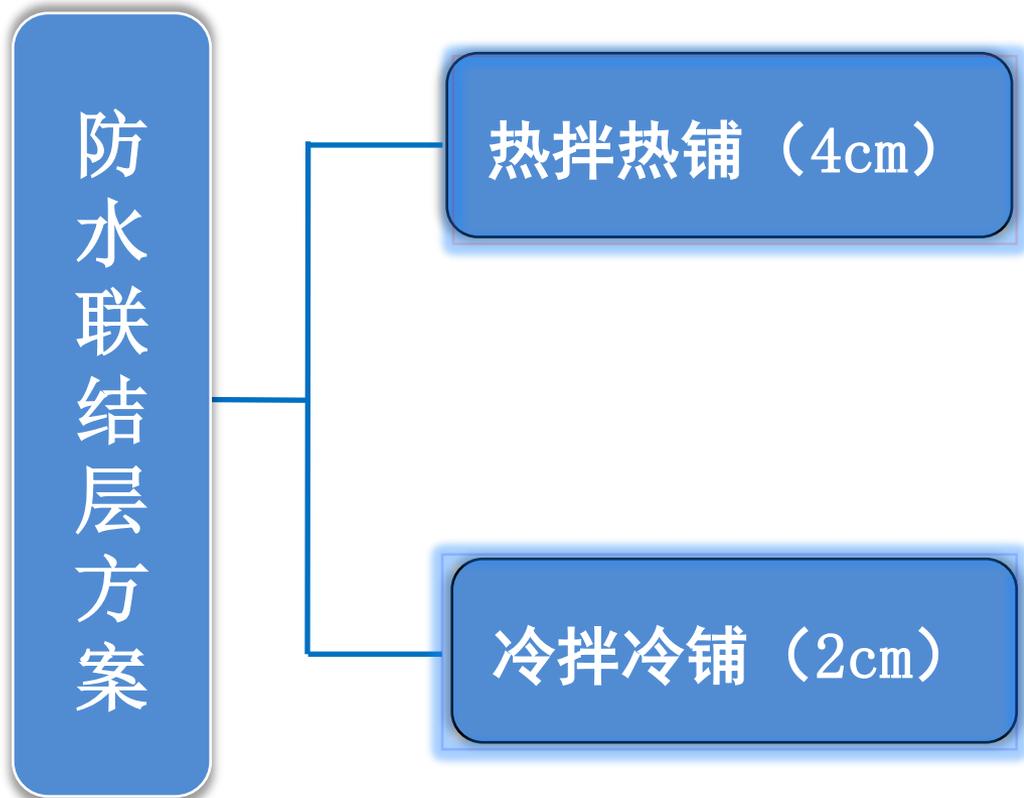
2. “柔刚柔” 路面结构特点



3. 柔性联结层方案比选



3. 柔性联结层方案比选



选择原则

- 1 防水联结层不需承重，厚度影响不大，主要起加强层间联结得的作用
- 2 防水联结层必须具备良好的柔韧性与黏结性。
- 3 优越的排水、防水性能

3. 柔性联结层方案比选

防水联结层方案

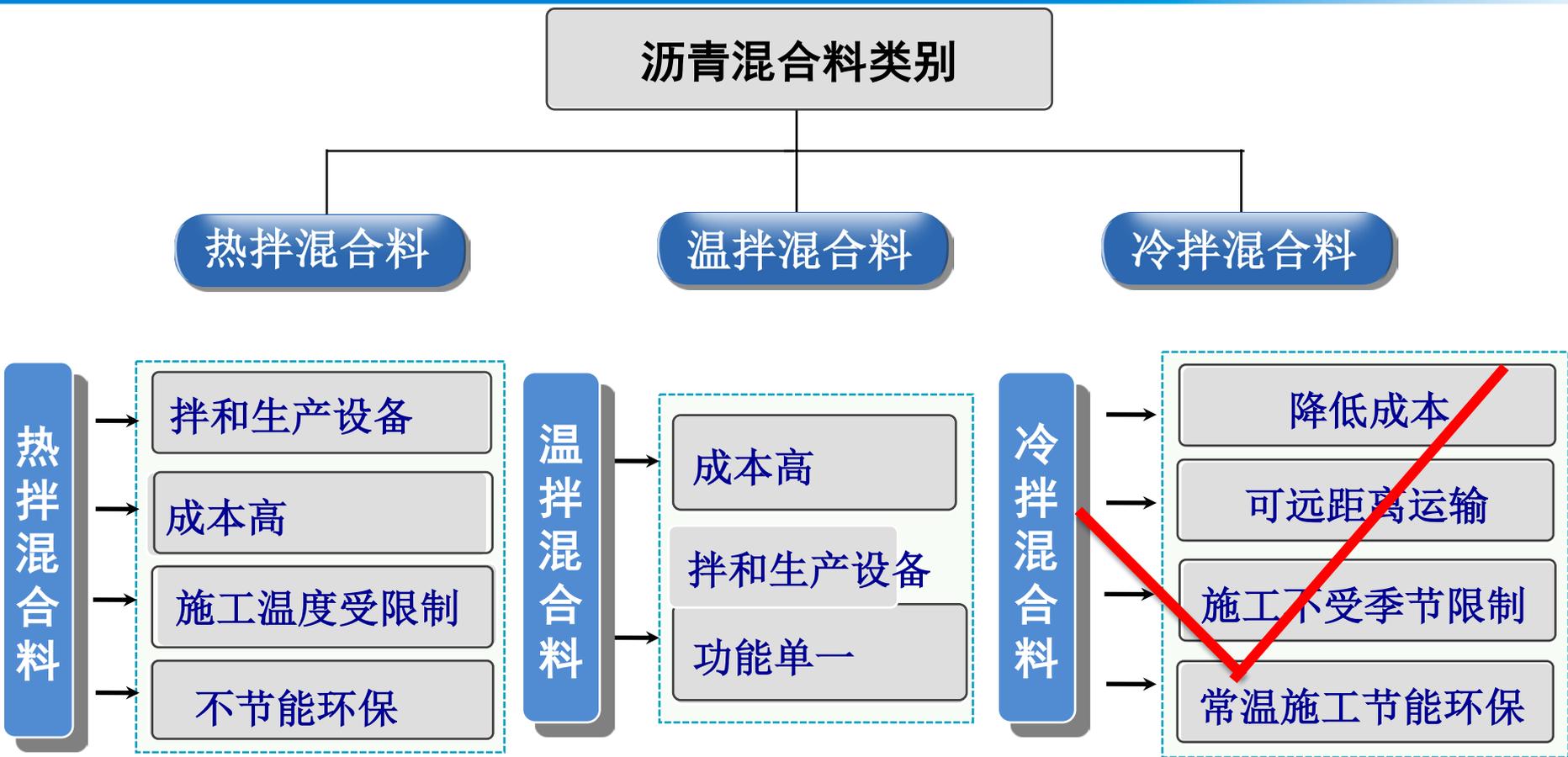
热拌热铺 (4cm)

- 拌合温度约170℃，高能耗，对环境污染较大
- 施工温度较高，施工受季节限制
- 施工工艺复杂，运输成本高
- AC沥青混合料沥青含量低（5%左右），应用于防水联结层粘结与防水效果不佳

冷拌冷铺 (2cm)

- 常温拌合，大幅度降低能源消耗，节能减排效果突出
- 施工温度较低，施工季节得以延长
- 便于储运、施工便捷
- 冷拌料沥青含量较高（11%左右），具有良好的柔韧性、粘结性，排水防水和应力吸收效果好

3 柔性联结层方案比选



适用于准兴高速路的常温施工技术——冷拌混合料技术！

三. 冷拌料材料组成与优势

- 1 材料组成
- 2 性能特点
- 3 冷拌料优势

1. 材料组成

材料组成

改性
乳化沥青

具有更加良好的粘滞性、低温性、粘附性、耐久性以及黏弹性。



级配碎石

对冷拌沥青混合料路面的强度、高温稳定性和水稳性起决定性作用



水泥

更好的控制现场环境对混合料系统的影响和混合料的高温水稳性



添加剂

调节稀浆混合料可拌和时间、破乳速度、开放交通时间等施工性能



水

调节冷拌混合料的稠度与混合料的摊铺状态

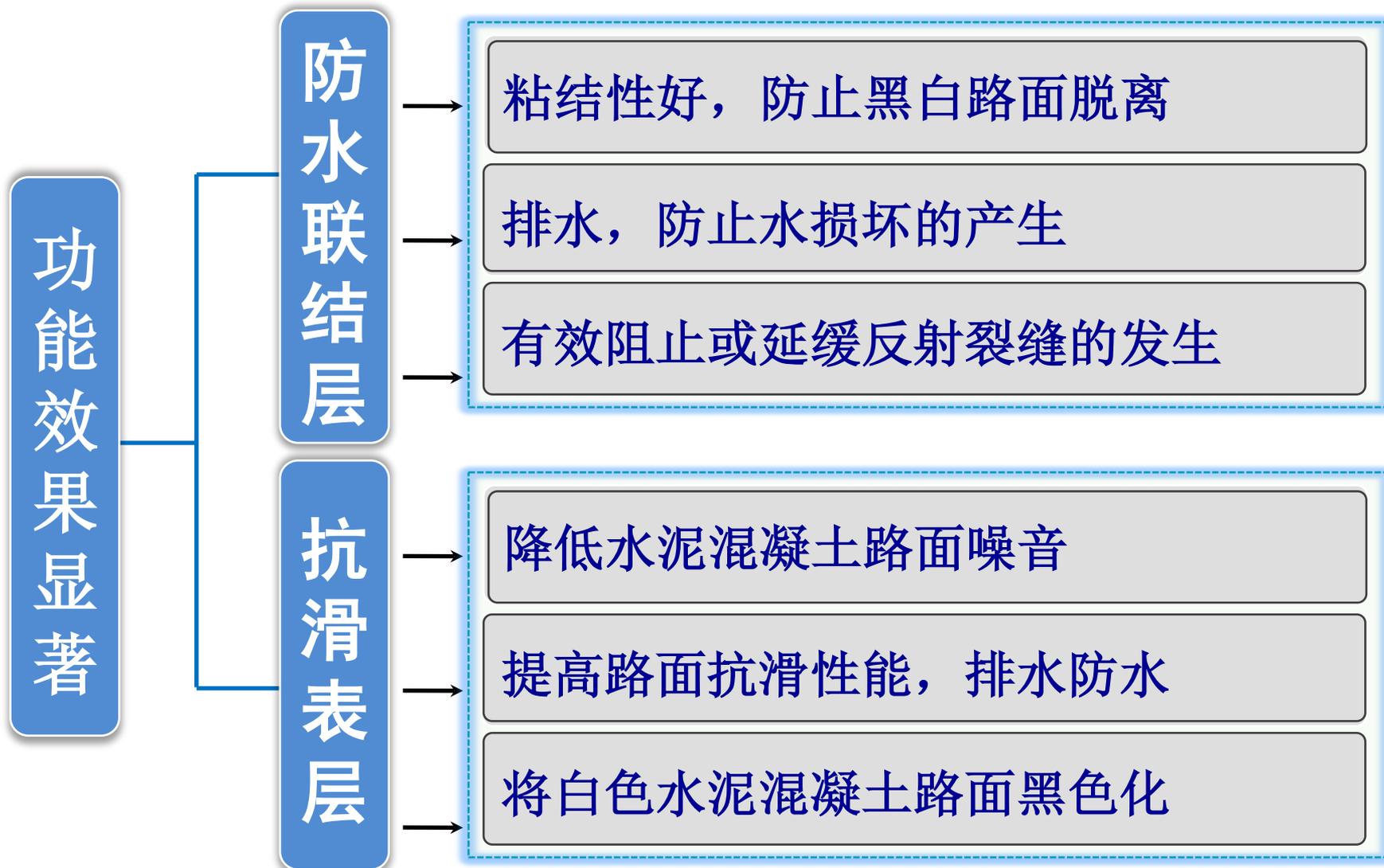


2. 性能特点



- 高温稳定性——高温条件下能抵抗车辆荷载反复作用产生的永久变形
- 低温抗裂性——冬季温度降低时有良好的抵抗由于收缩导致的开裂
- 使用耐久性——抵抗长期环境因素及行车荷载反复作用的能力
- 施工和易性——能够在拌和、摊铺过程中保持良好的施工状态

2. 性能特点



3. 冷拌沥青混合料优势

(一) 常温施工 节能环保

冷拌沥青混合料在施工阶段不需要加热原材料，彻底解决了有害气体的排放问题



冷拌料无烟气



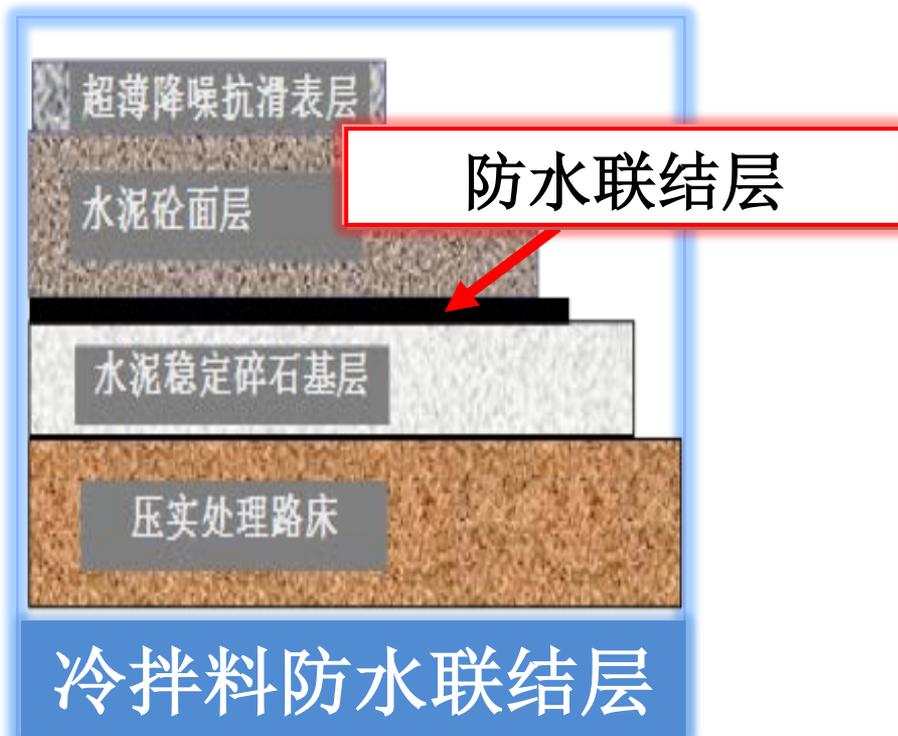
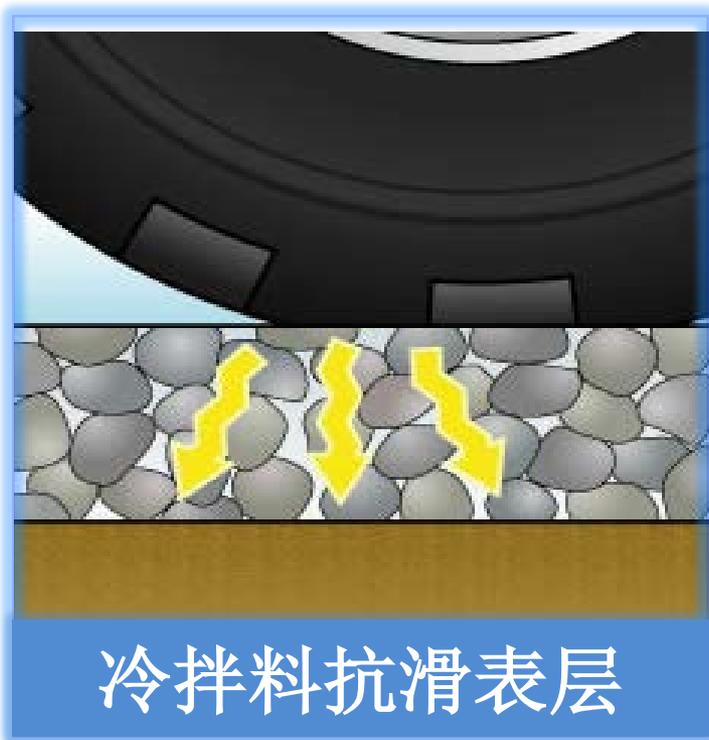
热拌料产生浓烟

PK

3. 冷拌沥青混合料优势

(二) 降噪抗滑 层间联结

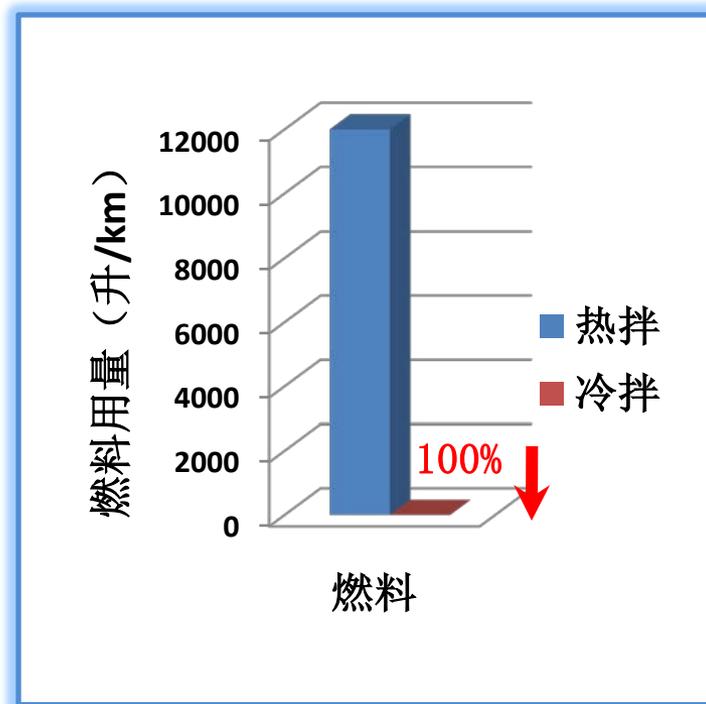
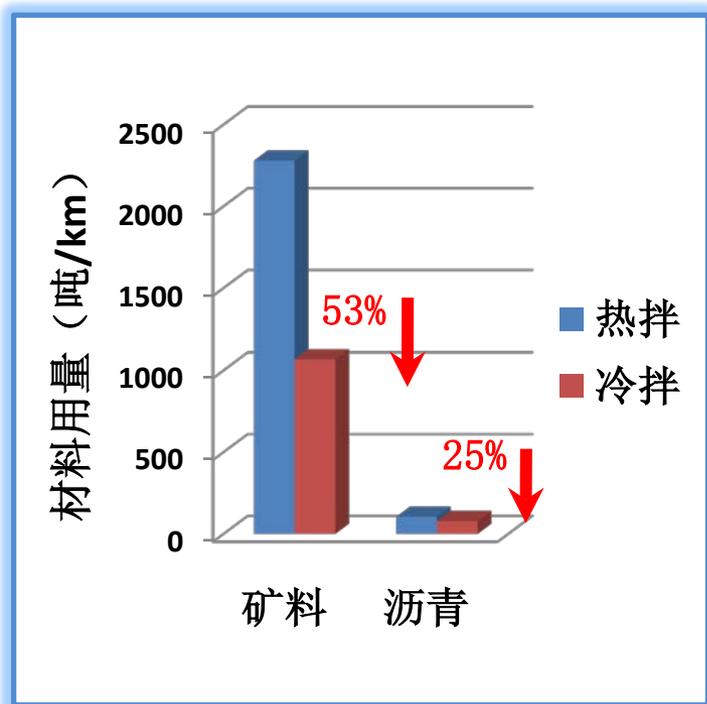
冷拌沥青混合料可用作抗滑表层和防水联结层，并且有很好的粘结和降噪抗滑作用。



3. 冷拌沥青混合料优势

(四) 经济社会效益显著

冷拌材料在矿料和沥青用量方面都大幅减少，造价显著降低，经济效益十分显著



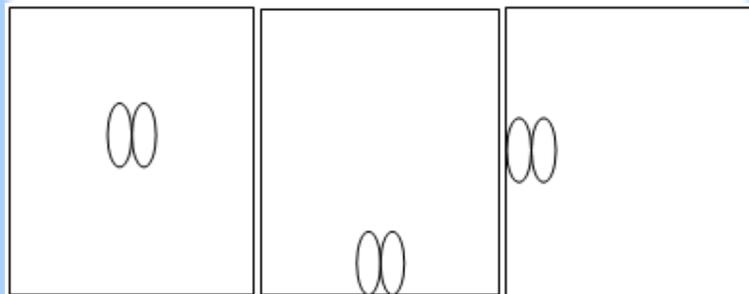
四. 冷拌冷铺施工指南

- 1 原材料技术要求
- 2 冷拌料技术要求
- 3 施工工艺
- 4 质量控制

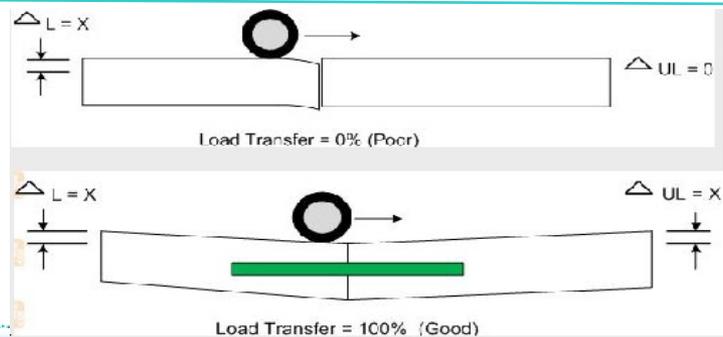
四. 冷拌冷铺施工指南

受力分析

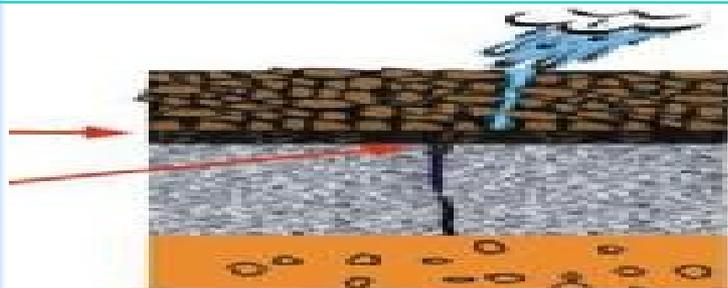
1. 荷载作用位置分析



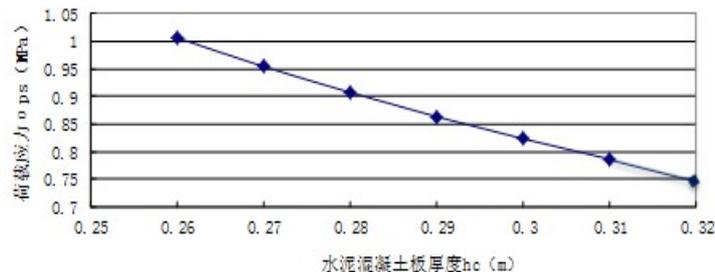
2. 板块荷载应力分析



4. 路面层间应力分析

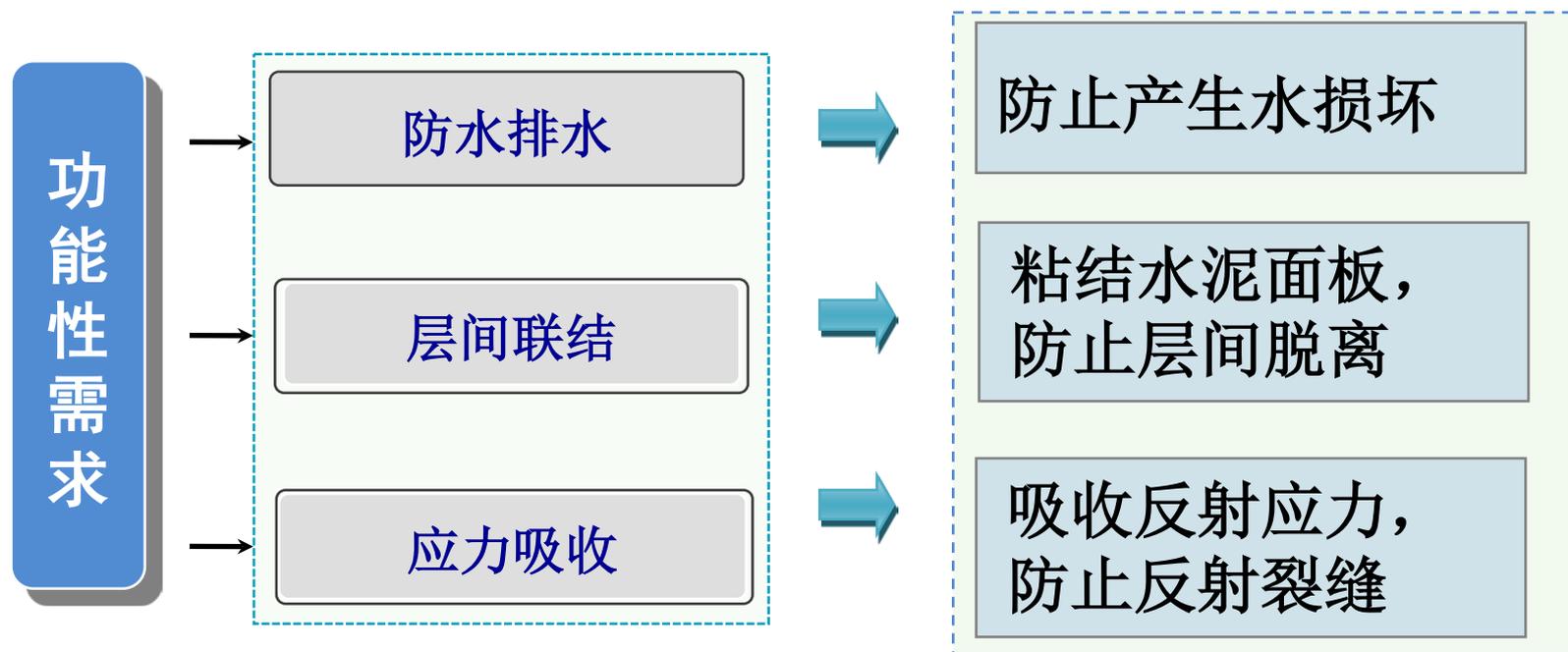


3. 水泥混凝土板底应力分析



四. 冷拌冷铺施工指南

功能需求

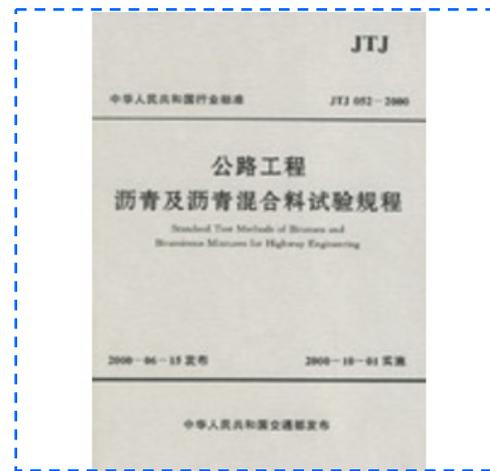
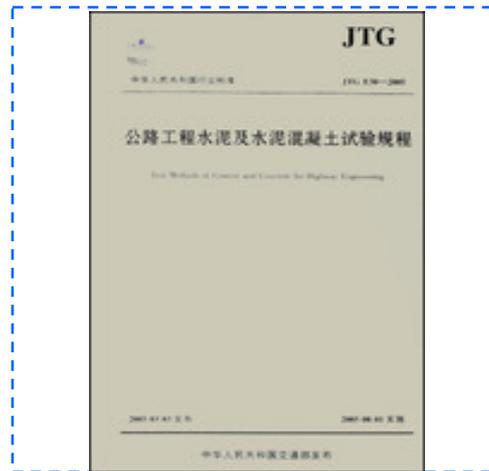
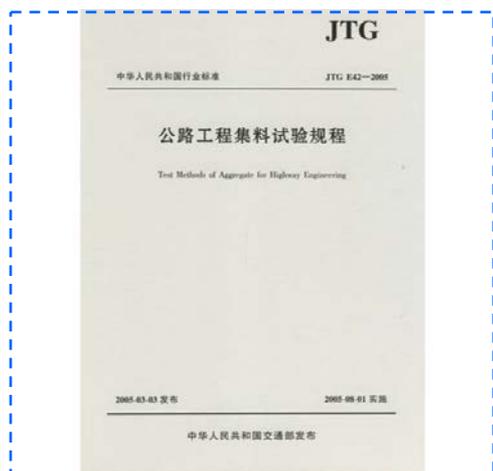


结合**受力分析**和**功能性需求**确定原材料的技术要求

四. 冷拌冷铺施工指南

规范规程

依据规范及试验规程



1 JTG F40—2004 《公路沥青路面施工技术规范》

2 JTG E42—2005 《公路工程集料试验规程》

3 JTJ 052-2000 《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》

1. 原材料技术要求

- 1 改性乳化沥青
- 2 集料填料
- 3 级配要求

1.1 改性乳化沥青

改性乳化沥青

改性乳化沥青技术指标

序号	测试项目	单位	测试方法	指标
1	储存稳定性, 1天	%	T0655-1993	不高于1
2	储存稳定性, 5天	%	T0655-1993	不高于5
3	蒸发/蒸馏残留物含量	%	T0651-1993	不低于62
4	破乳速率		T0658-1993	慢裂
5	筛上剩余量, 1.18mm	%	T0652-1993	不高于0.05
6	赛波特粘度, 25℃	SFs	T0623-1993	20-100
7	电荷		T0653-1993	正电荷 +
8	与矿料的粘附性/裹覆试验		T0654-1993	不低于2/3
9	延度, 5℃, 5cm/min	cm	T0605-1993	不低于35
10	测力延度比, 4℃, 5cm/min	%	ASTM D226	不低于30
11	粘韧性, 25℃; 500mm/min	N. m	T0624-2011	不低于25
12	韧性, 25℃; 500mm/min	N. m	T0624-2011	不低于20
13	弹性恢复, 10℃	%	T0662-2000	不低于70

1.2 集料技术要求

矿料

矿料要求

粗集料

抗磨耗、抗冲击、坚硬、粗糙



细集料

干燥、洁净、无杂质、颗粒级配



矿粉

强基性岩石磨细，干燥、洁净



1.2 集料技术要求

粗集料

粗集料技术指标

指标	单位	高速公路及一级公路		其他等级公路	试验方法
		表面层	其他层次		
石料压碎值，不大于	%	26	28	30	T0316
洛杉矶磨耗损失，不大于	%	28	30	35	T0317
表观相对密度，不小于	—	2.60	2.50	2.45	T0304
坚固性，不大于	%	12	12	—	T0314
针片状颗粒含量（混合料），不大于	%	15	18	20	T0312
吸水率，不大于	%	2.0	3.0	3.0	T0304
水洗法<0.075mm颗粒含量，不大于	%	1	1	1	T0320
软石含量，不大于	%	3	5	5	T0320

1.2 集料技术要求

细集料

细集料技术指标

项 目	单 位	高速公路、 一级公路	其他等级 公路	试验方法
表观相对密度，不小于	—	2.5	2.45	T0328
坚固性 (>0.3mm部分)， 不小于	%	12	—	T0340
含泥量 (<0.075mm的含 量)，不大于	%	3	5	T0333
砂当量，不小于	%	60	50	T0334
亚甲蓝值，不大于	g/kg	25	—	T0349
棱角性 (流动时间)， 不小于	s	30	—	T0345

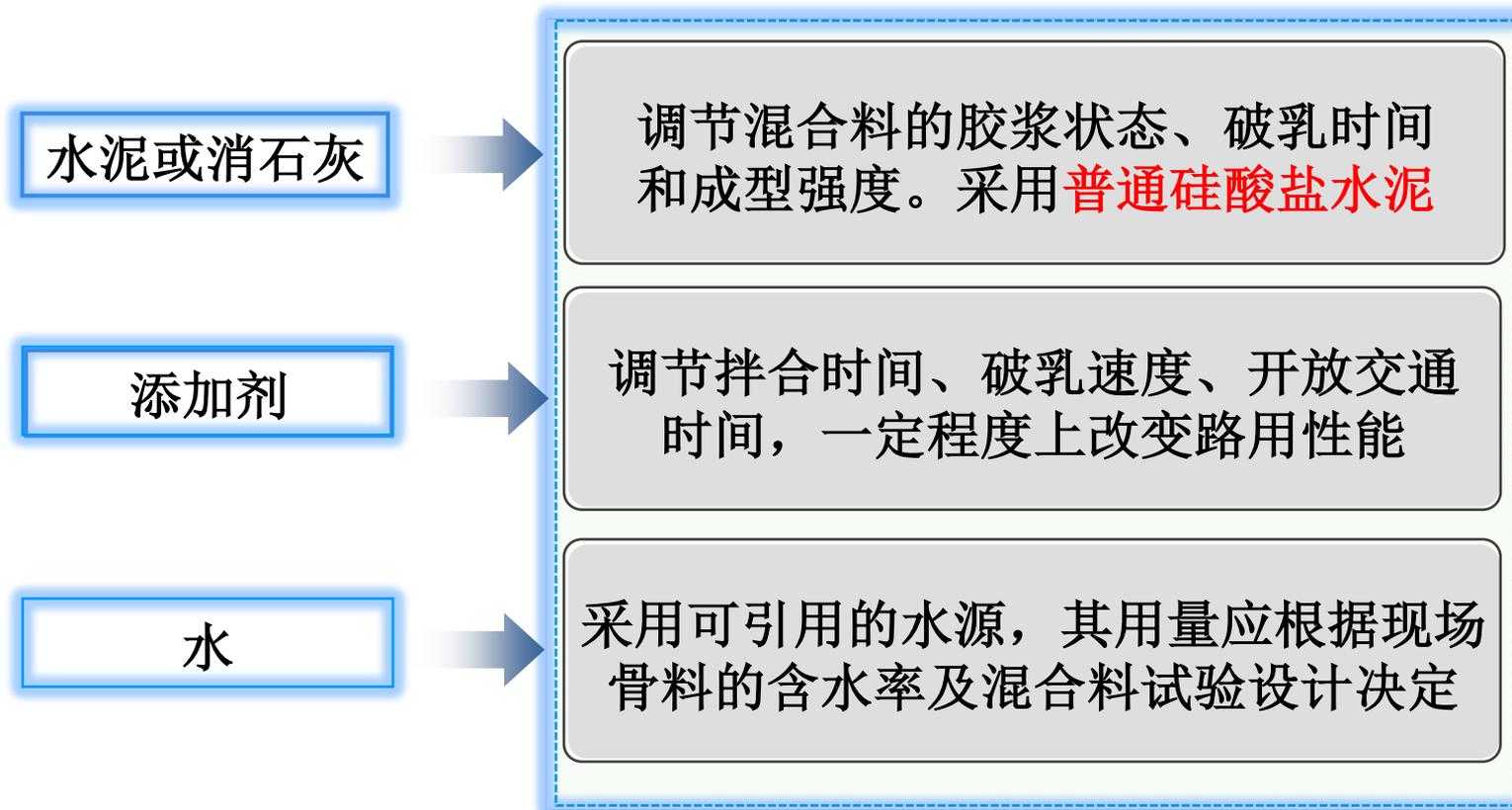
1.2 集料技术要求

矿粉

矿粉技术指标

项目	单位	高速公路、一级公路	其他等级公路	试验方法
表观密度, 不小于	t/m ³	2.5	2.45	T0352
含水量, 不大于	%	1	1	T0103烘干法
亲水系数	—	<1	—	T0353
粒度范围<0.6mm	%	100	100	T0351
<0.15mm	%	90-100	90-100	
<0.075mm	%	75-100	70-100	
塑性指数	%	<4	—	T0354
加热安定性	—	实测记录	—	T0355
外观	—	无团粒结块	—	—

1.2 集料技术要求



水泥技术要求应符合硅酸盐水泥的技术指标，
添加剂的用量由拌合试验确定

1.3 集料级配

级配要求

冷拌冷铺料矿料级配要求

筛孔 (mm)	级配范围 (通过率%)		
	下限	级配中值	上限
9.5	95	97.5	100
4.75	55	65	75
2.36	38	48	58
1.18	26	34.5	43
0.6	17	20	33
0.3	10	17	24
0.15	6	11	16
0.075	4	6.5	9

2. 冷拌冷铺料技术要求

冷拌冷铺沥青混合料试验技术要求建议值



混合料检测项目	稳定度 (KN)	流值 (mm)	密度 (g/cm ³)	稳定度 (KN)	流值 (mm)	空隙率 (%)	60℃维姆稳定度	-10℃劲度模量 (Mpa)
建议值	25℃/养生/测试			105℃/养生/测试				60℃/养生/-10℃测试
	>3	2-4.5	>2.35	>2.5	3-6	5-7.5	18-25	<2000

2. 冷拌料技术要求

1. 马歇尔试验

试件制作与养生

成型试件时以估算的改性乳化沥青用量为初值，按1%增减改性乳化沥青用量，称取**5组**集料和改性乳化沥青，每组平行**3个**试件。



先将矿料、水泥拌和均匀。按估计的（矿料的0.5%至3%）外加用水量加入集料中，然后加入改性乳化沥青乳液，迅速拌和至均匀。为了模拟现场，将拌和好的混合料放置至松散状态，后将其装入试模中，**两面锤击各50次**。



制备2组试件，将其中一组在室温**25℃**下横向放置养生**48h**，养生后试件两面再各击25次，立即脱模；另1组置于温度**105℃**的鼓风烘箱中养生**24h**；养生后试件立即两面再各击25次，冷却至室温后脱模。



2. 冷拌料技术要求

1. 马歇尔试验

第一组

室温条件下养生的1组试件在
25℃水浴中恒温30-40min



测试马歇尔稳定度、流值，
计算其混合料的密度。



25℃条件下测试的稳定度可作为
乳化沥青混合料**初期强度**的评定
指标

第二组

在105℃烘箱中养生的另1组
试件在60℃水浴中恒温
30-40min



测试马歇尔稳定度和流值



60℃条件下测定的稳定度、流值
和空隙率，作为混合料**最终强度**
的评定指标

2. 冷拌料技术要求

2. 维姆度试验

试件制作与养生

将预先拌合好的乳化沥青混合料**1200g**加入试模中，加载垂直压力为**600kPa±18kPa**，压实转速为**30r/min±0.5 r/min**，有效地内旋转角为**1.16° ±0.02°**，旋转压实次数为**50次**成型试件。



将成型好的试件脱模后放置于**105℃**的鼓风烘箱中养生**24h**。



冷却至室温后再放入**60℃**鼓风烘箱中保温**2h**，检测维姆稳定度。

采用旋转压实法，制作直径为100mm的圆柱体试件

2. 冷拌料技术要求

2. 维姆度试验

维姆度测试

将制备好的试件放入60℃的鼓风烘箱中
预热 2 h



按照维姆稳定度仪测试方法进行，
测试其水平、垂直压力和刻度盘转速。



最后计算稳定度值



维姆稳定度仪

测试混合料在全方位受力时混合料的稳定性能

2. 冷拌料技术要求

3. 弯曲蠕变

试件制作与养生

按混合料密度算出 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 50\text{mm}$ 规格的试模中冷拌沥青混合料的用量，装入试模中碾压14次。



压实后放入 105°C 的鼓风烘箱中养生24h，再放至成型试验机上复压7次。



冷却至室温后脱模，用切割机切出 $250\text{mm} \times 30\text{mm} \times 35\text{mm}$ 规格的试件，将切好的试件用于低温小梁检测。



按T0703-2011中**轮碾机**成型的板块，用**切割机**制作棱柱体试件。

2. 冷拌料技术要求

3. 弯曲蠕变

将制作好的试件在 -10°C 保温4h以上，用万能试验仪测试试件破坏时的**最大荷载** P_B 及**跨中挠度** d ；计算求得小梁破坏时的弯曲劲度模量 S_B 。

计算： $R_B = 3 \times L \times P_B / 2 \times b \times h^2$

$$\varepsilon_B = 6 \times h \times d / 2$$

$$S_B = R_B / \varepsilon_B$$

上式中： R_B —— 试件破坏时的抗弯拉强度 (MPa)

ε_B —— 试件破坏时的最大弯拉应变 ($\mu\varepsilon$)

S_B —— 试件破坏时的弯曲劲度模量 (MPa)

b —— 跨 L 中断面试件的宽度 (mm)

h —— 跨中断面试件的高度 (mm)

L —— 试件的跨径 (mm)



用 -10°C 小梁弯曲劲度模量评估常温改性乳化沥青混合料的技术指标要求

3. 施工工艺

施工工艺

准备

放线、清扫、材料装载、拌和摊铺设备就位

拌和

预拌和、试验室拌和试验观察拌和状态、破乳、松散时间等。

摊铺

保证摊铺缓慢、均匀、连续、稳定，摊铺机与拌和车组合使用。

碾压

分初压、复压、终压三个阶段，分别用相应吨位的压路机，确保压实效果。

养生

自然条件下养生48h以上，确保混合料中水分蒸发完全，期间不能有机机动车辆在其上作业。



3. 施工工艺

拌和工艺

拌和工艺

设备准备: 保证拌和设备的产能, 以确保摊铺的连续性、均匀性

设备标定: 对设备进行原材料标定, 摊铺时注意**检查**冷拌料的**均匀性**, 及时分析异常现象, 如混合料有花白、离析等现象, 应作废料处理并及时予以纠正。

室内试验: 根据现场原材料以及现场环境进行试验室拌和试验, 观察混合料粘结性状态、破乳时间、松散时间等, 以指导现场施工。



3. 施工工艺

摊铺工艺

摊铺工艺

找平方式：摊铺机采用自动找平方式，下面层采用钢丝绳引导的高程控制方式，上面层采用平衡梁或雪橇式摊铺厚度控制方式，中面层可根据实际情况选找平方式。

摊铺速度：根据拌和机的产能、设备配套情况及摊铺厚度、摊铺宽度，按5—15m/min予以调整选择，提高路面平整度。

注意事项：尽量在人行道上处理检查井、收水井。一般不允许人工找补整修，缺陷较严重时应铲除并调整或改进摊铺工艺。摊铺遇雨时应立即停工，铲除未压实部分。



3. 施工工艺

碾压工艺

目的

工艺

初压



整平、稳定混合料
促进乳化沥青破乳



用8T左右轻型钢轮压路机
碾压2遍，可开高频振动

复压



使混合料密实、稳定、
成型促进沥青还原



采用25T左右的胶轮压路机，
碾压 2-3遍

终压



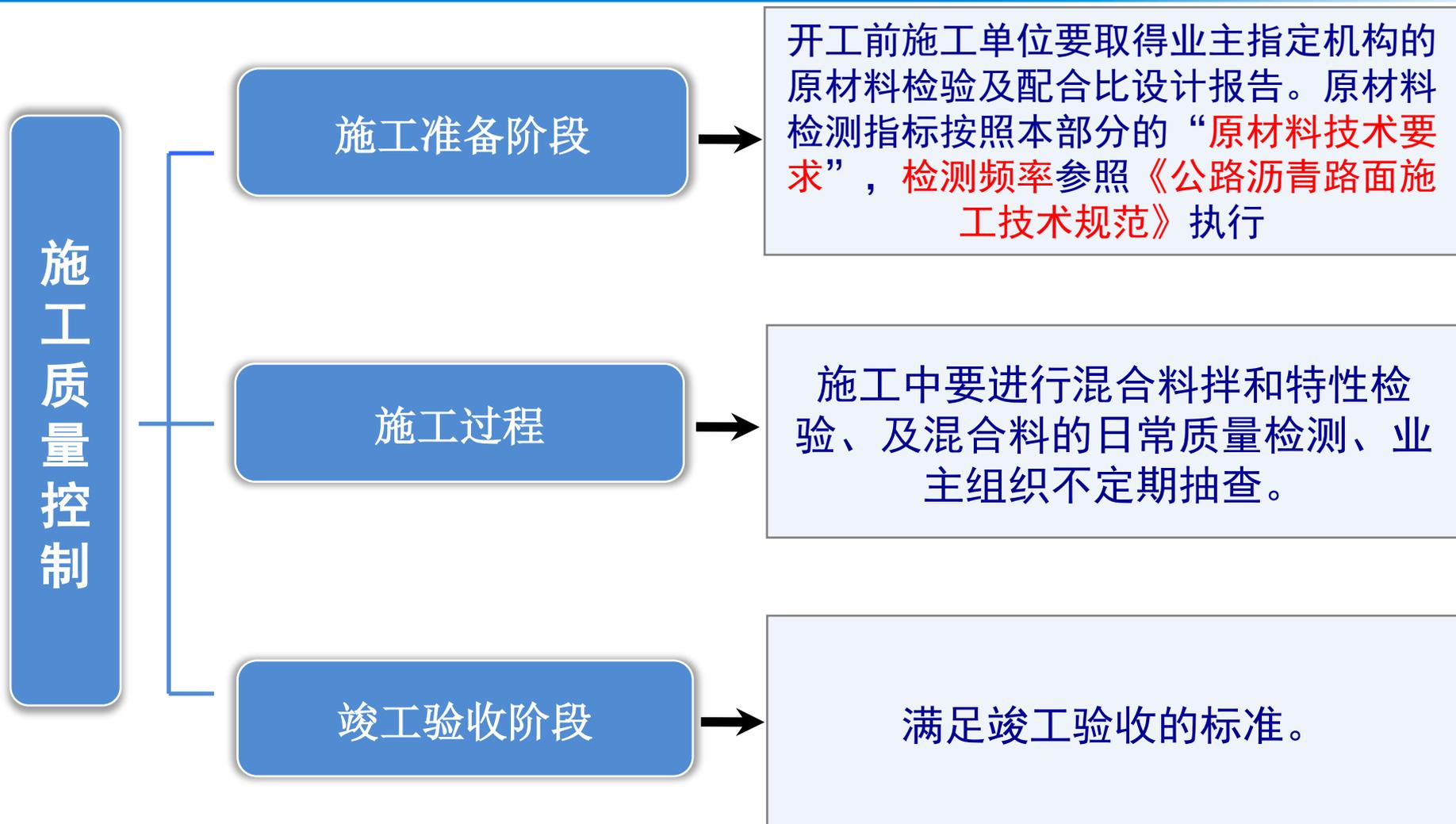
保证平整度及压实度



采用25T或更重的胶轮压路机，
碾压次数3-5遍



4. 质量控制

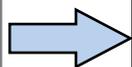


五. 设计实例

- 1 设计概要
- 2 原材料性质
- 3 配合比设计
- 4 施工建议

2. 原材料性质

原材料测试



粗集料

坚硬、粗糙、外观有棱角的玄武岩集料。质量应满足《粗集料技术指标》中的要求。

细集料

洁净、干燥、无风化、无杂质且有适当级配的玄武岩，质量应满足《细集料技术指标》中的要求。

改性乳化沥青

保证该冷拌冷铺混合料系统的整体功能，采用冷拌专用改性乳化沥青应满足《改性乳化沥青技术指标》



2. 原材料性质

细集料还需对下表中指标进行检验，试验结果如下：

0-3mm细集料试验结果

项目	单位	试验结果	技术要求	试验方法
砂当量 不小于	%	67.2	60	T0334
亚甲蓝值 不大于	g/ k g	18	25	T0349
棱角性 不小于	%	45.4	30	T0345

2. 原材料性质

各档集料筛分试验结果

筛孔尺寸	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
5-10mm	95.1	2.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
3-5mm	100	90.5	12.7	1.2	0.5	0.4	0.4	0.4
0-3mm	100	99.9	96.3	71.5	38	21.9	15	10.5

2. 原材料性质

改性乳化沥青技术指标

序号	测试项目	单位	测试方法	指标	试验值
1	储存稳定性, 1天	%	T0655-1993	不高于1	0.2
2	储存稳定性, 5天	%	T0655-1993	不高于5	2.1
3	蒸发/蒸馏残留物含量	%	T0651-1993	不低于62	62.9
4	破乳速率		T0658-1993	慢裂	慢裂
5	筛上剩余量, 1.18mm	%	T0652-1993	不高于0.05	0.03
6	赛波特粘度, 25℃	SFs	T0623-1993	20-100	34.13
7	电荷		T0653-1993	正电荷 +	正电荷 +
8	与矿料的粘附性/裹覆试验		T0654-1993	不低于2/3	合格
9	延度, 5℃, 5cm/min	cm	T0605-1993	不低于35	38
10	测力延度比, 4℃, 5cm/min	%	ASTM D226	不低于30	36.1
11	粘韧性, 25℃; 500mm/min	N.m	T0624-2011	不低于25	31.23
12	韧性, 25℃; 500mm/min	N.m	T0624-2011	不低于20	28.01
13	弹性恢复, 10℃	%	T0662-2000	不低于70	82.7

3. 配合比设计

- 冷拌冷铺改性乳化沥青混合料的矿料级配应符合工程设计规定的矿料级配范围
- 根据公路设计的等级、气候条件和交通条件选择AC-10 I 型细型密级配
- 设计级配下各档矿料的比例、设计级配、设计级配曲线图见下表

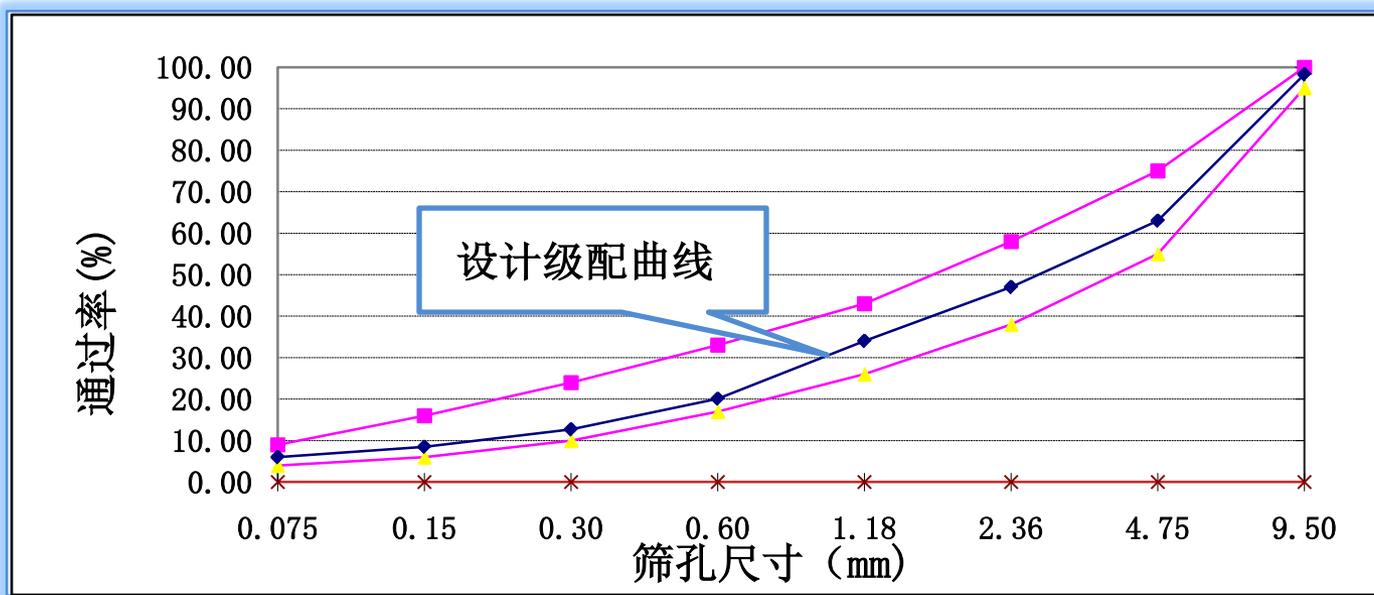
设计级配下各档集料比例 (%)

矿料 配比	5-10mm	3-5mm	0-3mm
矿料 比例	35	15	50

3. 配合比设计

混合料设计级配

通过率	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
设计级配通过率	98.3	64.3	50.2	36.0	19.2	11.1	7.6	5.42
AC-10 I 级配范围	95-100	55-75	38-58	26-43	17-33	10-24	6-16	4-9



3. 配合比设计

不同改性乳化沥青用量下混合料技术指标

改性乳化 沥青用量	AC-10 I 密级配						
	25℃测试 (常温48h养生)			60℃测试 (105℃/24h养生)			
	稳定度 (KN)	流值 (mm)	密度 (g/cm ³)	稳定度 (KN)	流值 (mm)	空隙率 (%)	密度 (g/cm ³)
9%	5.6	3.3	2.47	3.6	3.6	7.7	2.405
10%	6.7	3.5	2.43	4.3	4.8	6.4	2.419
11%	7.1	3.9	2.42	4.1	5.8	5.5	2.407
12%	6.9	4.6	2.38	3.8	6.6	5.1	2.394
技术要求	>3	2-4.5	>2.35	>2.5	3-6	5-7.5	>2.40

综合冷拌乳化沥青混合料性能测试结果，初步估算改性乳化沥青用量**10%**是比较合理的。

3. 配合比设计

配比设计

冷拌改性乳化沥青混合料性能检测

级配类型	AC-10 I 级配	
验证混合料试验项目	维姆稳定度	-10℃劲度模量 (MPa)
检测数据	22	1957
指标要求	18-25	<2000

为检验设计级配需对混合料进行维姆稳定度和低温弯曲应试验。

设计结论：设计的混合料满足相应的技术要求。

敬 请 指 正

谢 谢