

团 体 标 准

T/CECRPA 018—2025

环保生态型薄层沥青混凝土（ECA）应用 技术规范

Technical specification for ecological conservation thin-layer
asphalt (ECA) concrete

2025-05-19 发布

2025-05-19 实施

中国生态文明研究与促进会 发布

目 次

环保生态型薄层沥青混凝土（ECA）应用技术规范	I
前 言	IV
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 应用设计要求	5
6 施工	7
7 质量检验与评定	13
附 录 A （规范性附录） 易密实添加剂 PH 值、固含量和胺值指标试验方法	16
附 录 B （规范性附录） 熟化橡胶粉改性沥青试验室制备方法	19
附 录 C （规范性附录） 环保生态型薄层沥青混合料室内拌和试验要求	21
附 录 D （规范性附录） 环保生态型薄层沥青混凝土碳排放计算	23
附 录 E （资料性附录） 环保生态型薄层沥青混凝土应用实例	28
E.1 工程概况	28
E.2 原材料	28
E.3 级配设计	28
E.4 马歇尔击实试验	29
E.4.1 马歇尔击实试验	29
E.4.2 确定最佳油石比	30
E.5 性能验证	30
E.5.1 析漏、飞散试验	30
E.5.2 浸水马歇尔试验	31
E.5.3 冻融劈裂试验	31
E.5.5 车辙试验	31
E.5.6 低温性能试验	32
E.5.7 渗水试验	32
E.5.8 抗滑性能试验	32
E.5.8.1 构造深度试验	32
E.5.8.2 摆值试验	32
E.6 施工工艺	32
E.6.1 机械配置	32
E.6.2 黏层洒布	33

E. 6.3 易密实添加剂添加至沥青储存罐..... 33

E. 6.4 拌和、焖料、摊铺、碾压..... 33

E. 6.5 现场检测试验结果..... 34

E. 6.5.1 压实度试验..... 34

E. 6.5.2 渗水试验..... 35

E. 6.5.3 抗滑试验..... 36

前 言

本文件按照GB/T1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国生态文明研究与促进会提出并归口。

本文件起草单位：金华市公路港航与运输管理中心、东南大学、江苏东南工程咨询有限公司、江苏瑞沃建设集团有限公司、江苏路邦土木科技有限公司、江苏道智公路科学研究院有限公司、浙江数智交院科技股份有限公司。

本文件主要起草人：邹晓勇、顾兴宇、李大鹏、吴闻秀、于斌、尤鋈、陈永锋、周洲、李志刚、陈俊、付理想、蒋继望。

环保生态型薄层沥青混凝土（ECA）应用技术规范

1 范围

本文件规定了环保生态型薄层沥青混凝土（ECA）应用技术规范术语和定义、材料、应用设计要求、施工及质量检验与评定等技术要求。

本文件适用于新建及养护工程中环保生态型薄层沥青混凝土（ECA）的设计、施工及验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T533 硫化橡胶或热塑性橡胶密度的测定方法B
 GB/T1232.1 未硫化橡胶 用圆盘振荡硫化仪测定硫化特性 第1部分：门尼黏度的测定
 GB/T3362 碳纤维复丝拉伸性能试验方法
 GB/T3516 橡胶溶剂抽出物的测定方法A
 GB/T4498.1 橡胶灰分的测定第1部分：马弗炉法
 GB/T10685 羊毛纤维直径试验方法 投影显微镜法
 GB/T14335 化学纤维短纤维线密度试验方法
 GB/T14837.1 橡胶和橡胶制品热重分析法测定硫化胶和未硫化胶的成分
 GB/T19208 硫化橡胶粉
 GB/T21120 水泥混凝土和砂浆用合成纤维
 FZ/T01057.6 纺织纤维鉴别试验方法
 JTG D50-2017 公路沥青路面设计规范
 JTG D62 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
 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 3450 公路路基路面现场测试规程
 JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
 JTG 5210 公路技术状况评定标准
 JTG 5142-2019 公路沥青路面养护技术规范
 JTG 5220 公路养护工程质量检验评定标准
 JTG 5421-2018 公路沥青路面养护设计规范
 JT/T797 路用废胎橡胶粉
 JT/T798 路用废胎胶粉橡胶沥青

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

环保生态型沥青混凝土 ecological conservation asphalt concrete

指通过优化集料级配设计，并选择性掺入易密实添加剂、增强纤维及再生橡胶粉等功能性外掺剂，以降低沥青和集料消耗、减少施工能耗及碳排放为目标的绿色筑路材料。

3.2

易密实添加剂 easy compacted additive

一种基于乳化技术、可降低沥青黏度，从而改善沥青混合料在较低温度下压实性能的化学添加剂。

3.3

熟化橡胶粉 curing modified rubber powder

由路用废胎胶粉、橡胶反应剂等，在100℃下经过特殊加工工艺制成的非脱硫形态的复合改性橡胶颗粒。

3.4

薄层罩面 thin overlays

设计厚度在25~40mm之间的沥青混合料罩面。

3.5

超薄层罩面 ultra-thin overlays

设计厚度小于25mm的沥青混合料罩面。

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 各种材料运至现场后应按 JTG F40 规定取样进行质量检验，经检测合格后方可使用，不应以供应商提供的检测报告或商检报告替代现场检测。

4.1.2 集料粒径规格以方孔筛为准，不同料源、品种、规格的集料应分区隔离堆放，不应混杂。各种集料和矿粉的存放应采取防雨和场地硬化等措施。

4.1.3 纤维、改性橡胶粉、易密实添加剂应存放在室内或棚盖的地方，纤维在运输及使用过程中应避免受潮。

4.2 沥青

4.2.1 沥青应采用改性沥青，我国大部分地区公路宜选用 I-D 级，西北和东北地区可选用 I-C 级，高寒地区可选用 I-B 级，具体技术要求应符合表 1 的规定。

表1 SBS 改性沥青技术要求

试验项目		单位	技术要求			试验方法
SBS 改性沥青标号		—	I-B	I-C	I-D	
针入度(25℃, 100g, 5s)		0.1mm	80~100	60~80	50~70	T0604
针入度指数 PI，不小于		—	-0.8	-0.4	-0.2	T0604
延度(5cm/min, 5℃)，不小于		cm	40	30	25	T0605
软化点(环球法)，不小于		℃	50	55	75	T0606
运动黏度 135℃，不大于		Pa.s	3			T0625
动力黏度 60℃，不小于		Pa.s			5000	T0620
闪点，不小于		℃	230			T0611
溶解度(三氯乙烯)，不小于		%	99			T0607
弹性恢复(25℃)，不小于		%	60	65	75	T0662
贮存稳定性离析，48h 软化点差，不大于		℃	2.0			T0661
薄膜加热残留物 (163℃, 5h)	质量变化，不大于	%	±0.8			T0609
	针入度比 25℃，不小于	%	55	60	65	T0604
	延度 5℃，不小于	cm	25	20	15	T0605
密度(15℃)，不小于		g/cm ³	1.0			T0603

4.2.2 黏层采用改性乳化沥青，应符合表 2 的规定。

表2 改性乳化沥青技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
破乳速度	—	快裂	T0658
粒子电荷	—	阳离子(+)	T0653
筛上剩余量(1.18mm)，不大于	%	0.1	T0652

黏度	恩格拉黏度计 E ₂₅	—	1~15	T0622
	道路标准黏度计 C _{25.3}	s	10~40	T0621
蒸发 残留物	残留物含量, 不小于	%	60	T0651
	针入度(100g, 25℃, 5s)	0.1mm	60~120	T0604
	软化点, 不小于	℃	60	T0606
	延度(5℃), 不小于	cm	20	T0605
	动力黏度 (60℃), 不小于	Pa.s	1500	T0620
	弹性恢复(25℃, 1h), 不小于	%	60	T0662
	溶解度(三氯乙烯), 不小于	%	97.5	T0607
常温储存 稳定性	5d, 不大于	%	5	T0655
	1d, 不大于	%	1	T0655
与矿料的黏附性,裹复面积, 不小于		—	2/3	T0654

4.2.3 改性沥青、改性乳化沥青宜在固定工厂集中制作, 现场储存罐中应加设搅拌设备, 储存应符合 JTG F40 的相关规定。

4.3 粗集料

粗集料应采用石质坚硬、清洁、不含风化颗粒、近似立方体颗粒的碎石, 粒径大于等于4.75mm。宜采用玄武岩、辉绿岩或辉长岩等符合要求的石料, 其技术要求应符合表3的规定。

表3 粗集料技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
石料压碎值, 不大于	%	20	T0316
洛杉矶磨耗损失, 不大于	%	28	T0317
表观相对密度, 不小于	—	2.60	T0304
吸水率, 不大于	%	2.0	T0304
针片状颗粒含量(混合料), 不大于	%	12	T0312
软石含量, 不大于	%	2.5	T0320
坚固性, 不大于	%	12	T0314
水洗法<0.075mm 颗粒含量, 不大于	%	0.8	T0310
磨光值 PSV, 不小于	—	42	T0321
与沥青的黏附性	级	5	T0616

4.4 细集料

细集料应坚硬、洁净、干燥、无风化、无杂质, 宜采用优质石灰岩机制的细集料, 粒径应小于4.75mm, 技术要求应符合表4的规定。

表4 细集料技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
表观相对密度, 不小于	—	2.60	T0328
坚固性(>0.3mm 部分), 不大于	%	12	T0340
砂当量, 不小于	%	65	T0334
棱角性(流动时间), 不小于	s	30	T0345
亚甲蓝值, 不大于	g/kg	5	T0349

4.5 填料

填料宜采用石灰岩经磨细得到的矿粉, 矿粉应干燥、清洁, 技术要求应符合表5的规定。

表5 矿粉技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
表观密度，不小于	t/m ³	2.60	T0352
含水量，不大于	%	0.8	T0103
粒度范围(%)	<0.6mm	100	T0351
	<0.15mm	90~100	
	<0.075mm	75~100	
外观	—	无团粒结块	目测
亲水系数，不大于	—	0.8	T0353
塑性指数，不大于	%	4	T0354

4.6 纤维

宜选用聚酯纤维或丝状玄武岩纤维。聚酯纤维的技术要求应符合表6的规定，玄武岩纤维的技术要求应符合表7的规定。

表6 聚酯纤维技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
抗拉强度，不小于	MPa	550	GB/T21120
断裂伸长率	%	30±9	GB/T21120
颜色	—	白色	目测
熔点，不小于	℃	230	FZ/T01057.6
直径	μm	20±4	GB/T10685
比重	g/cm ³	1.36~1.40	GB/T14335
长度	mm	3~6	目测

表7 丝状玄武岩纤维技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
抗拉强度，不小于	MPa	3000	GB/T21120
弹性模量，不小于	GPa	90	GB/T3362
断裂伸长率	%	2.5~3.5	GB/T21120
颜色	—	金色	目测
熔点，不小于	℃	300	FZ/T01057.6
直径	μm	11±4	GB/T10685
比重	g/cm ³	2.60~2.80	GB/T14335
长度	mm	3~6	目测

4.7 易密实添加剂

4.7.1 易密实添加剂分为水剂型（稀释液喷淋法施工）和油剂型（沥青储存罐投放施工）两种。

4.7.2 易密实添加剂的技术要求应符合表8的规定。

4.7.3 易密实添加剂应选用表面活性剂类材料，使用后不应改变沥青胶结料的针入度、软化点和延度指标。

4.7.4 ECA 沥青混合料选用的易密实添加剂，应有效降低击实温度不小于 30℃，并满足 ECA 沥青混合料压实度指标要求（压实度应达到试验室标准密度的 96%以上，且最大理论密度的 92%以上）。易密实添加剂在使用前应通过实验室验证，确保其能够有效降低击实温度并满足混合料的压实度要求。

表8 易密实添加剂技术要求

试验项目	单位	技术要求		试验方法
		水剂型	油剂型	
胺值 ^a	mgKOH/g	400~560	510~610	附录 A
固含量，不小于	%	9.5	100	附录 A
PH 值	—	10.0±1	11.5±1	附录 A

产品类别	—	表面活性剂类型	
物理状态	—	液体	目测
对沥青三大指标的影响	—	不改变	T0604/T0605/T0606
对沥青混合料 TSR 的影响	—	不降低	T0729
^a 胺值表征易密实添加剂中有效氨基含量的指标，即中和每 1g 样品所需要的酸，以与其相当的氢氧化钾毫克数来表示（mgKOH/g）。			

4.8 熟化橡胶粉

4.8.1 熟化橡胶粉颗粒粒径宜在 30 目~40 目范围内。

4.8.2 熟化橡胶粉的技术要求应符合表 9 的规定。

表9 熟化橡胶粉技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
相对密度	-	1.0~1.30	GB/T533
铁含量，不大于	%	0.03	GB/T19208
门尼黏度 ML（1+4）100℃，不小于	—	80	GB/T1232.1
灰分，不大于	%	8	GB/T4498.1
丙酮抽出物，不大于	%	16	GB/T3516
碳黑含量，不小于	%	28	GB/T14837.1
橡胶烃含量，不小于	%	48	GB/T14837.1

4.8.3 熟化橡胶粉应根据附录 B 的要求制备熟化橡胶粉改性沥青胶结料来确定种类选择，熟化橡胶粉改性沥青胶结料的技术要求见表 10。

表10 熟化橡胶粉沥青胶结料技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
180℃布氏旋转黏度	Pa.s	1~3	T0625
针入度(25℃，100g，5s)	0.1mm	50~70	T0604
软化点，不小于	℃	60	T0606
弹性恢复，不小于	%	60	T0662
延度（5cm/min，5℃），不小于	cm	20	T0605

4.8.4 熟化橡胶粉应根据附录 B 的要求制备熟化橡胶粉复合改性沥青胶结料来确定掺加比例，熟化橡胶粉复合改性沥青胶结料的技术要求见表 11。

表11 熟化橡胶粉复合改性沥青胶结料技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
运动黏度 135℃	Pa.s	2~3	T0625
针入度(25℃，100g，5s)	0.1mm	40~60	T0604
软化点，不小于	℃	65	T0606
弹性恢复，不小于	%	80	T0662
延度（5cm/min，5℃），不小于	cm	20	T0605

5 应用设计要求

5.1 一般规定

5.1.1 ECA 分为两种路面结构类型：ECA-10 和 ECA-6.7。

5.1.2 ECA 可用于沥青路面或桥隧沥青铺装的磨耗层、新建沥青路面表面层、沥青路面车辙病害的填补与修复以及薄层桥隧沥青铺装使用。

5.1.3 ECA-10 用于中等交通和轻交通等级道路时，可不掺加熟化橡胶粉；ECA-10 用于重交通等级、

特重交通等级道路和交叉口易发车辙病害路段时应掺加熟化橡胶粉。

5.1.4 ECA-6.7 不宜用于新建沥青路面的表面层、长大纵坡路段的磨耗层。

5.1.5 ECA-6.7 应掺加熟化橡胶粉，以确保其路用性能满足设计要求。

5.1.6 ECA 材料性质要求、设计参数及路面结构验算应符合 JTG D50 相关规定。

5.2 磨耗层铺筑

5.2.1 ECA 用于磨耗层时，设计厚度应符合以下要求：ECA-10 设计厚度宜 20mm~25mm，ECA-6.7 设计厚度宜 12mm~15mm。

5.2.2 在原路面上铺筑 ECA 磨耗层时，应依据 JTG H20 对原路面技术状况进行评价，并进行病害诊断及养护对策分析。路面性能指标应符合 JTG 5421 第 5 章中关于预防性养护的要求，并满足 JTG 5142 第 5 章中薄层罩面、超薄罩面适用的路况指数要求。

5.2.3 ECA 磨耗层铺筑前，应依据 JTG 5142 第 6 章相关规定，对原路面出现的裂缝、坑槽、车辙、沉陷、波浪拥包等病害进行处理。

5.2.4 桥面铺筑 ECA 磨耗层时，应按照 JTG D62 进行桥梁荷载验算，确保加铺后桥梁的承载能力满足设计要求。隧道铺筑 ECA 磨耗层时，应计算隧道净空，确保铺装层厚度不影响隧道的通行净空要求。

5.2.5 桥隧沥青铺装 ECA 磨耗层铺筑前，应依据 JTG 5142 第 12 章相关规定，对原铺装层病害进行处理。铺装层的表面构造深度、黏结防水层的抗剪强度和拉拔强度应满足相关要求。

5.3 路面表面层铺筑

5.3.1 ECA 用于路面结构层的表面层时，应采用 ECA-10 沥青混合料，设计厚度不宜小于 25mm。

5.3.2 ECA 用于路面结构层的表面层时，应按 JTG D50 第 4 章的规定进行结构组合设计，路面结构设计的技术指标应符合 JTG D50 第 3 章的相关规定，并按 JTG D50 第 6 章规定的进行路面结构验算。

5.3.3 ECA 动态压缩模量按 JTG D50 中 5.5.11 规定确定，其水平三 20℃ 条件下动态压缩模量可按表 12 确定。

表12 ECA-10 沥青混合料 20℃ 条件下动态压缩模量（Ea）取值范围

沥青混合料类型	Ea ^a
ECA-10	8000MPa~10000 MPa

^a 沥青黏度大、级配好或空隙率小时取高值，反之取低值。

5.3.4 ECA 面层应具有平整、密实、抗滑、耐久的品质，并具有高温抗车辙、低温抗开裂，以及良好的抗水损害能力。ECA 沥青路面技术指标应符合表 13 的要求。

表13 ECA 沥青路面技术指标

检查项目		单位	目标值		测试方法
			一级公路及以上	一级公路及以上	
平整度	标准差 σ ，小于	mm	1.2	2.5	T0932
	IRI，小于	m/km	2.0	4.2	T0933
抗滑性能	构造深度，不小于	mm	0.6		T0961
	磨擦系数摆值，不小于	BPN	55		T0964
高温稳定性，车辙试验动稳定度，不小于		次/mm	4000		T0719
水稳性	浸水马歇尔试验残留稳定度，不小于	%	85		T0790
	冻融劈裂试验残留强度比，不小于	%	80		T0729
抗裂性能，低温弯曲破坏应变，不小于		$\mu\epsilon$	2500		T0728

5.4 车辙填补与修复

- 5.4.1 ECA 适用于压密性车辙及已稳定的流动性车辙的修复。
- 5.4.2 进行车辙填补修复时，根据老路车辙深度铣刨相应厚度，采用合适类型 ECA 进行填补，类型选择应结合混合料适宜填补厚度以及单层填补为原则。ECA-6.7 适宜填补厚度为 15mm~30mm，ECA-10 适宜填补厚度为 25mm~40mm。

6 施工

6.1 一般规定

- 6.1.1 原路面存在破损（裂缝、坑槽、松散、沉陷等）病害时，应进行病害处理。
- 6.1.2 铺筑前宜采取精铣刨或拉毛工艺对原路面处理以增强层间粘结。
- 6.1.3 ECA 公称最大粒径与层厚相匹配，各层的压实厚度宜不小于集料公称最大粒径的 2.0 倍。
- 6.1.4 ECA 的配合比设计应按照 JTG F40 中关于热拌沥青混合料配合比设计的要求，分目标配合比、生产配合比和生产配合比验证三个阶段进行，最终确定矿料级配及最佳沥青用量。
- 6.1.5 在 ECA 沥青混合料矿料级配的各阶段设计中，应增加 6.7mm 筛孔的控制，确保级配符合设计要求。
- 6.1.6 易密实添加剂的掺加比例以沥青质量的百分比计算。水剂型易密实添加剂掺加量不宜低于沥青质量的 5%，油剂型易密实添加剂掺加量不宜低于沥青质量的 0.5%。
- 6.1.7 当 ECA 施工环境气温不低于 35℃时，可不掺加易密实添加剂，但应通过试验段验证压实度指标。若压实度未达到设计要求，则需掺加易密实添加剂。
- 6.1.8 纤维类添加剂的掺加比例以沥青混合料总量的百分比计算。纤维类添加剂掺加量不应低于沥青混合料质量的 0.25%。
- 6.1.9 改性橡胶粉的掺加比例以沥青质量的百分比计算。改性橡胶粉的掺加量不应低于沥青质量的 8%。
- 6.1.10 ECA 施工宜在较高温度条件下进行，当气温低于 15℃时不宜施工。ECA 的施工温度应符合表 14 的规定。

表14 ECA 施工温度要求

项目	温度要求	
	SBS 改性沥青	熟化橡胶粉复合改性沥青混合料
沥青加热温度	160℃~170℃	160℃~170℃
矿料加热温度	180℃~200℃	190℃~220℃
沥青混合料出厂温度	170℃~180℃	175℃~185℃
摊铺温度，不低于	160℃	170℃
初压开始温度，不低于	150℃	165℃
碾压终了的表面温度，不低于	90℃	90℃
开放交通时的路表温度，不高于	50℃	50℃

- 6.1.11 ECA 掺加易密实剂后，可在 7.1.10 条规定的施工温度基础上适当降低施工温度。温度降低的具体阈值应根据易密实剂的降温效能，通过试验段的压实度指标进行验证确定。
- 6.1.12 ECA 施工应遵循“压路机紧跟摊铺机”的压实工艺原则，确保混合料在适宜温度下及时压实，避免因温度下降导致压实度不足。
- 6.2 配合比设计
- 6.2.1 目标配合比设计
- 6.2.2 ECA 的公称最大粒径分为 9.5mm 和 6.7mm 两种。其中，ECA-10 在原材料受限的情况下，可选

用 ECA-10S，但应掺加熟化橡胶粉，且其矿料级配应符合表 15 的要求。

表15 ECA 集料级配范围

级配类型		通过下列筛孔（mm）的质量百分率（%）									
		13.2	9.5	6.7	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
ECA-10	级配上限	100	100	50	40	36	30	25	20	12	8
	级配下限	100	80	30	20	18	14	10	7	6	4
ECA-10S	级配上限	100	100	60	40	36	30	25	20	12	8
	级配下限	100	80	30	20	18	14	10	7	6	4
ECA-6.7	级配上限	—	100	100	52	35	29	23	18	12	8
	级配下限	—	100	80	38	25	19	15	12	8	4

6.2.2.1 配合比设计技术要求如下：

- a) ECA 沥青混合料室内拌和及马歇尔试件成型应按附录 C 进行。
- b) 按 JTG F40 进行目标配合比设计，确定最佳沥青用量（OAC）。ECA 马歇尔试验指标应符合表 16 的技术要求。

表16 ECA 马歇尔试验配合比设计技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
马歇尔试件尺寸	mm	φ101.6×63.5	T0702
马歇尔试件击实次数	次	双面击实 75	T0702
空隙率 VV	%	3~6	T0708
矿料间隙率 VMA，不小于	%	15	T0708
沥青饱和度 VFA	%	70~85	T0708
稳定度 MS，不小于	kN	8.0	T0709
流值 FL	0.1mm	20~50	T0709
谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失，不大于	%	0.2	T0732
肯塔堡飞散试验的混合料损失或浸水飞散试验，不大于	%	15	T0733

- c) ECA 需在配合比设计的基础上对各种路用性能进行检验，不符合要求的混合料，应更换材料或重新进行配合比设计。ECA 的路用性能需满足表 17 的技术要求。

表17 沥青混合料性能技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
浸水马歇尔试验残留稳定度，不小于	%	85	T0790
冻融劈裂试验残留强度比，不小于	%	80	T0729
低温弯曲破坏应变，不小于	με	2500	T0728
车辙试验动稳定度，不小于	次/mm	4000	T0719
渗水系数（室内试验），不大于	ml/min	150	T0730

6.2.3 生产配合比设计

ECA沥青混合料的生产宜采用间歇式拌和楼，应按规定方法取样测试各热料仓的材料级配，确定各热料仓的配合比，供拌和楼控制室使用。ECA沥青混合料生产过程中应选择适宜的筛孔尺寸和安装角度，在拌和楼上增设6.7mm的筛网，使各热料仓的供料大体平衡。取目标配合比设计的最佳沥青用量OAC、OAC±0.3%等3个沥青用量进行马歇尔试验和试拌，通过室内试验及从拌和楼取样试验综合确定生产配合比的最佳沥青用量，由此确定的最佳沥青用量与目标配合比设计的结果差值不宜大于±0.2%。

6.2.4 生产配合比验证

6.2.4.1 拌和楼按生产配合比结果进行试拌、铺筑试验段，并取样进行马歇尔试验，同时从路上钻取芯样观察空隙率的大小，由此确定生产用的标准配合比。标准配合比的矿料合成级配中，至少应包括 0.075mm、2.36mm、4.75mm、6.7mm 的通过率，保证其接近优选的工程设计级配范围的中值，并避免在 0.3mm~0.6mm 出现“驼峰”。对确定的标准配合比，宜再次进行车辙试验和水稳定检验。

6.2.4.2 确定施工级配允许波动范围。根据验证后的标准配合比及质量管理要求中各筛孔的允许波动范围，制订施工用的级配控制范围，用以检查 ECA 沥青混合料的生产质量。

6.2.4.3 经确定的标准配合比在施工过程中不应随意变更。生产过程中应加强跟踪检测，严格控制进场材料的质量，如遇材料发生变化并经检测混合料的矿料级配、马歇尔技术要求不符合要求时，应及时调整配合比，使 ECA 沥青混合料的质量符合要求并保持相对稳定，必要时重新进行配合比设计。

6.3 施工准备

6.3.1 施工前应检查各种材料的来源和质量，不符合本规范要求材料不应进场。对沥青、集料等重要材料，供货单位应提交最新检测的正式试验报告。

6.3.2 工程开始前，应对材料的存放场地、防雨和排水措施进行检查和验收。

6.3.3 施工前应对沥青储存罐、沥青拌和站、摊铺机、压路机等施工机械和设备进行调试，确保满足施工需要。

6.3.4 原路面有病害的应处治，处治后原路面技术性能应符合表 11 规定，其工作面应进行清扫，确保路面洁净、干燥。

6.3.5 采用水剂型易密实剂工艺时，应对拌锅增设喷淋装置，并对喷淋设备进行调试，确保满足施工需要；采用油剂型易密实剂工艺时，应在拌和施工 2 小时前加入沥青储存罐，采用储存罐搅拌器搅拌 2 小时或采用两个沥青储存罐将沥青进行 1 个循环。

6.4 试验路

6.4.1 ECA 沥青混合料施工前应铺筑试验段，试验段长度建议 200m~300m，可根据实际工程调整。

6.4.2 试验段铺筑包括试拌和试铺两个阶段，需要确定的内容包括：

- a) 根据各种机械的施工能力相匹配的原则，确定适宜的施工机械，按生产能力决定机械数量与组合方式。
- b) 通过试拌确定：
- c) 拌合机的操作方式——上料速度、拌和数量、拌和时间、添加剂的添加工艺、拌和温度等。
- d) 验证沥青混合料的配合比设计与沥青混合料的技术性质，决定正式生产用的矿料配合比与油石比。
- e) 通过试铺确定：
 - 1) 检验沥青混合料施工性能，评价是否有利于摊铺和压实，要求混合料不离析、不结块。
 - 2) 摊铺机的操作方式——摊铺温度、摊铺速度、初步振捣夯实的方法和强度、自动找平方式等。
 - 3) 压实机具的选择、组合，压实顺序，碾压温度，碾压速度及遍数（至少应有两种确保压实度符合要求的碾压方案）。
 - 4) 通过试铺检验摊铺、压实工艺，确定松铺系数。ECA-10 的松铺系数宜为 1.18~1.22，ECA-6.7 的松铺系数宜为 1.15~1.20。
- f) 确定施工组织及管理体系、质保体系、人员、机械设备、检测设备、通讯及指挥方式。
- g) 试铺段的质量检查频率应根据需要比生产路段路面施工时适当增加（宜增加一倍，保证每种碾压组合的试铺段压实度、渗水系数等检查项目不少于 10 点）。试铺结束后，经检测各项技术指标均符合规定时，施工单位提出试铺段总结报告。

6.5 黏层油喷洒

6.5.1 气温低于 15℃时或路面潮湿时不应喷洒黏层油。

6.5.2 喷洒黏层油前应清扫路面，遮挡路缘石及构造物避免污染，喷洒前将乳化沥青加热到 60℃左右。

6.5.3 宜采用智能型沥青洒布车进行洒布，乳化沥青洒布量应为 $0.4 \text{ kg/m}^2 \sim 0.6 \text{ kg/m}^2$ 。应喷洒均匀，有花白遗漏应人工补洒。

6.6 拌和

6.6.1 ECA 混合料应采用间歇式拌和设备拌合。

6.6.2 冷料仓数量应满足配合比需要，不应少于 3 个，其中储备粗集料的冷料仓应不少于 2 个。

6.6.3 ECA 拌和时间应根据具体情况试拌确定，以纤维均匀分散及沥青均匀裹覆集料为度，拌和机单盘拌和时间不低于 60s，其中干拌不宜少于 10s。

6.6.4 水剂型易密实添加剂喷洒时间宜在沥青喷入搅拌锅后 3s 喷洒。纤维添加宜配备同步添加投料装置，纤维可在喷入沥青的同时或稍后采用风送设备喷入拌和锅；工程量小时也可分装成塑料小包由人工直接投入拌和锅。

6.6.5 ECA 拌和加入胶粉时，胶粉的计量和投放宜采用风送或皮带运输等机械方式连续投入，不宜采用人工投送的方式。投放设备计量精度允许正误差 2%，不允许出现负误差。胶粉的投放与粗集料、纤维放料同时进行，先干拌 20s，再加入沥青、矿粉湿拌不少于 50s，总拌和时间不少于 70s。

6.6.6 拌和楼控制室应逐盘打印沥青及各种矿料的用量和拌和温度。

6.6.7 目测检查混合料拌和的均匀性，及时分析异常现象，如混合料有无花白或离析等现象。

6.6.8 拌和结束后，用拌和楼打印的各档料数量进行总量验证。

6.6.9 沥青混合料出厂时应逐车检测重量和温度，记录出厂时间，签发运料单。

6.7 运输

6.7.1 运料车每次使用前后应清扫干净，在车厢板上涂一薄层隔离剂，但不应有余液积聚在车厢底部。

6.7.2 拌和站向运料车放料时，运料车应前后多次移动，平衡装料，以减少混合料离析。

6.7.3 运料车应对混合料有良好的保温措施。

6.7.4 宜采用数字显示插入式热电偶温度计检测 ECA 的出厂温度和运到摊铺现场温度。

6.7.5 ECA 拌和加入胶粉时，运输闷料时间应控制在 1~3 小时之间，且运输时间不应超过 3 小时，到现场温降不应大于 10℃

6.7.6 运输车的运量应较拌和能力及摊铺速度有所富余。路面表面层和磨耗层施工时，摊铺机前方应有至少两辆以上运料车等候卸料；车辙修补及桥面铺装施工时，应根据实际工程量调整。运料车进入摊铺现场前，车轮宜经过涂抹隔离剂的油毡布，油毡布应放在摊铺工作面外，减少运料车对黏层造成的污染。

6.7.7 连续摊铺过程中，运料车在摊铺机前 10cm~30cm 处停住，不应撞击摊铺机。卸料过程中运料车应挂空档，靠摊铺机推动前进。

6.8 摊铺

6.8.1 ECA 宜连续施工，避免与其他工序交叉干扰，杜绝运输和施工污染。

6.8.2 待乳化沥青完全破乳、路面干燥后才能进行 ECA 摊铺施工。宜在洒布黏层油后当天进行 ECA 摊铺施工。

6.8.3 ECA-6.7 在施工前应联系摊铺机厂家对熨平板架进行调整，以满足 1.5cm 的摊铺作业厚度。

6.8.4 摊铺机开工前应提前 0.5h~1h 预热熨平板温度至 100℃ 以上。摊铺过程中应保证熨平板的振捣或夯锤压实装置具有适宜的振动频率和振幅，以提高路面的初始压实度。

6.8.5 摊铺机应均匀、连续不间断地摊铺，不应随意变换速度或中途停顿，以提高平整度，减少混合料的离析。摊铺速度宜控制在 2m/min~6m/min 的范围内。当发现混合料出现明显的离析、波浪、裂缝时，应暂停施工，分析原因，予以消除。

6.8.6 ECA 未压实前，施工人员不应进入踩踏。如存在局部离析，应在现场技术人员指导下，用人工找补或更换混合料，缺陷较严重时应予铲除，并调整摊铺机或改进摊铺工艺。

6.8.7 摊铺机应调整到最佳工作状态，调好螺旋布料器两端的自动料位器，并使料门开度、链板送料器的速度和螺旋布料器的转速相匹配。螺旋布料器两侧应保持有不少于送料器 2/3 高度的混合料，使熨平板的挡板前混合料的高度在全宽范围内保持一致，避免摊铺层出现离析现象。

6.8.8 摊铺厚度应采用非接触式平衡梁方式进行控制。应随时检测松铺厚度是否符合规定，以便进行及时调整。摊铺机熨平板应拼接紧密，不应存有缝隙，防止卡入粒料将铺面拉出条痕。

6.8.9 摊铺结束前，不应收拢摊铺机收料斗。

6.8.10 ECA 采用一体化施工工艺时，应采用专业同步摊铺设备，设备包含受料斗、螺旋输送机、乳化沥青储罐、乳化沥青喷洒和计量系统、宽度可调节的振动熨平板等部分。改性乳化沥青在 80℃ 左右的温度下喷洒，设计喷洒量为 0.8 kg/m²~1.0 kg/m²。摊铺前对乳化沥青喷洒量进行了标定，摊铺结束后对乳化沥青使用总量进行核算。

6.9 压实

6.9.1 应配备足够数量的压路机，选择合理的压路机组合方式，经初压、复压、终压的碾压步骤，以达到最佳碾压效果。ECA 施工使用的压路机及碾压遍数宜参照表 18 的要求，具体碾压遍数由试验段试铺确定。

表18 压路机碾压遍数

压路机类型	初压	复压	终压
钢轮振动压路机	2 (静一振一)	—	—
轮胎压路机	—	5~6	—
钢轮压路机	—	—	1~2

6.9.2 单幅摊铺宜配置 1 台初压双钢轮振动钢轮压路机 (11t~18t)，1 台复压胶轮压路机 (25t~35t)，1 台终压双钢轮压路机 (10t~15t)。采取双机梯队或者一次性摊铺宽度超过 6m 摊铺作业时，宜配置 2 台初压双钢轮振动钢轮压路机 (11t~18t)，2 台复压胶轮压路机 (25t~35t)，1 台终压双钢轮压路机 (10t~15t)。

6.9.3 压路机应以均匀、连续不间断的速度碾压，压路机的适宜碾压速度参照表 19 的要求，具体碾压速度由试验段试铺确定。

表19 压路机碾压速度

单位为：m/min

压路机类型	初压		复压		终压	
	适宜	最大	适宜	最大	适宜	最大
钢轮振动压路机	33~50	83	—	—	—	—
轮胎压路机	—	—	33~66	116	—	—
钢轮压路机					50~83	100

6.9.4 初压应紧跟摊铺机后碾压，并保持较短的初压区长度，以尽快使表面压实，减少热量散失；复

压应紧跟在初压后进行，压路机碾压段的总长度不宜超过 60m。

6.9.5 为避免碾压时混合料推挤产生拥包，碾压时应将驱动轮朝向摊铺机；碾压路线及方向不应突然改变；压路机启动、停止应减速慢行，不准刹车制动；压路机折回不应处在同一横断面上。

6.9.6 在不产生严重推移和裂缝的前提下，压实工艺宜在较高的温度下进行。同时不应在过低温度状况下反复碾压，使石料棱角磨损、压碎，破坏集料嵌挤。

6.9.7 在当天碾压的尚未冷却的 ECA 面层上，不应停放压路机或其他车辆，并防止矿料、油料和杂物散落在沥青面层上。

6.9.8 对松铺厚度、碾压顺序、压路机组合、碾压遍数、碾压速度及碾压温度应设专人管理和检查。

6.9.9 应保持碾压轮清洁，有混合料黏轮应立即清除。对钢轮可涂刷隔离剂或防黏结剂，但不应刷柴油。当采用向碾压轮喷水（可添加少量表面活性剂）的方式时，应严格控制喷水量，喷水应呈雾状，不应漫流，以防止混合料降温过快。轮胎压路机开始碾压阶段，可适当烘烤、涂刷隔离剂或防黏结剂，数量以不黏轮为度，不应流淌，也可少量喷水，并先到高温区碾压使轮胎尽快升温，之后停止洒水。

6.10 接缝处理、开放交通

6.10.1 ECA 路面施工的接缝处理应按照 JTG F40 的要求进行。

6.10.2 ECA 路面温度降至 50℃ 以下时方可开放交通。

6.11 施工质量控制

6.11.1 ECA 施工过程中应重视施工温度、矿料级配及油石比的控制。施工过程中各项质量控制标准应符合表 20 的要求。

表20 ECA 施工过程质量控制标准

项目		检查频率	质量要求或允许差	试验方法
混合料外观		随时	观察集料粗细、均匀性、离析、油石比、色泽、冒烟、有无花白料、油团等现象	目测
拌和温度	沥青、集料的加热温度	逐盘检测评定	符合本规范规定	传感器自动检测、显示并打印
	混合料出厂温度	逐车检测评定	符合本规范规定	传感器自动检测、显示并打印，出厂时逐车按 T0981 人工检测
施工温度	摊铺温度	逐车检测评定	符合本规范规定	T0981
	碾压温度	随时	符合本规范规定	插入式温度计实测
矿料级配（筛孔）	0.075mm	每天 1 次，以 2 个试样的平均值评定	±2%	T0725 抽提筛分与标准及配比较的差
	≤2.36mm		±3%	
	≥4.75mm		±4%	
	≥6.7mm		±4%	
	≥9.5mm		±4%	
沥青用量与设计之差		逐盘在线监测	-0.1%~+0.2%	计算机采集数据计算
		每天 1 次，以 2 个试样的平均值评定	-0.1%~+0.2%	抽提 T0722、T0721
纤维添加剂用量与设计之差		逐盘检测	-0.5%~+0.5%	质量比计算
易密实添加剂用量与设计之差	水剂型	逐盘在线检测	-0.5%~+0.5%	计算机采集数据计算
	油剂型	每沥青储存罐 1 次	不小于设计值	质量比计算
马歇尔试验：空隙率、稳定度、流值		每天 1 次，以 4~6 个试样的平均值评定	符合本规范规定	T0702、T0709

7 质量检验与评定

7.1 基本要求

7.1.1 各类原材料的质量应满足规范和设计要求。沥青含量、矿料级配等沥青混合料质量指标应满足规范和设计要求。

7.1.2 应按设计进行路面铣刨或挖除。分层铣刨时路槽侧面应铣刨成台阶状。铣刨或挖除后的路槽应清理干净，无松散、夹层。铣刨或挖除的路面废料应妥善堆放和处理。桥面铣刨时不得伤及桥面铺装钢筋，有伸缩缝处不得铣刨。

7.1.3 铣刨或挖除后路槽上的裂缝、坑槽、松散等局部病害应按设计进行处理。

7.1.4 应按设计和 JTG F40 的规定进行黏层、封层等层间黏结施工。

7.1.5 应严格控制沥青混合料拌和温度。沥青混合料应拌和均匀，无花白，无粗细料分离和结团成块现象。

7.1.6 应严格控制摊铺和碾压温度，加强边部和接缝处碾压，按规定工艺将摊铺的沥青混合料碾压至要求的压实度。

7.1.7 路面应完成压实并冷却至表面温度低于 50℃ 后方可开放交通或在路面上进行其他作业。

7.1.8 路面横坡应能保证路面横向排水顺畅，且不得出现反坡。单车道施工的路面横坡应与整幅路面横坡相协调，且不得出现反坡。

7.2 实测项目

7.2.1 ECA 工程的实测项目规定值或允许偏差按一级及以上和二级及以下两档设定。

7.2.2 ECA 工程实测项目规定的检查频率为双车道公路每一检查段内的检查频率(按平方或立方或工作班设定的检查频率除外)，多车道公路按其车道数与双车道之比，相应增加检查数量。

7.2.3 路面表层平整度规定值是指交工验收时应达到的平整度要求，其检查测定以自动或半自动的平整度仪为主，全线每车道连续测定按每 100m 输出结果计算合格率。采用 3m 直尺测定路面各结构层平整度时，以最大间隙作为指标，按尺数计算合格率。

7.2.4 路面表层渗水系数宜在路面成型后立即测定，测定方法应符合 JTG 3450 的规定。

7.2.5 材料要求和配比控制应根据本规范相关要求，通过检查施工单位、监理单位的资料进行评定。

7.2.6 局部修补及车辙修补工程沥青混凝土面层实测项目见表 21。

表21 局部修补及车辙修补工程沥青混凝土面层实测项目

项次	检查项目		质量要求或允许偏差		检测方法和频率	权值
			一级公路及以上	二级公路及以下		
1	铣刨槽几何尺寸 (mm)	宽度 深度	不小于设计值		尺量:逐处检查, 每处检查 2 点	2
2	压实度		试验室标准密度 95%; 最大理论密度的 91%; 试验段密度的 97% ^a		T0924, 每 1500m ² 测 1 处, 不足 1500m ² 时每工点抽检 1 处	3
3	平整度	最大间隙率 h ^b , 不大于	3.0 mm	5.0mm	3m 直尺: 逐处检查, 每 5m 测 1 尺	1
4	接缝处高差		+3mm,0mm	+5mm,0mm	尺量:骑缝检测, 逐处检查, 每处检查 2 点	2
5	接缝顺直度, 不大于		10mm/m	15mm/m	拉线、钢直尺: 逐处检查	1

^a 表内压实度任选用其中的 1 个评定标准。

^b 长度小于 3m 的局部挖补不实测平整度。

7.2.7 表面层、磨耗层工程沥青混凝土面层实测项目见表 22。

表22 表面层、磨耗层工程沥青混凝土面层实测项目

项次	检查项目		质量要求或允许偏差		检测方法和频率	权 值
			一级公路及以上	二级公路及以下		
1	压实度		试验室标准密度 96%；最大理论密度的 92%；试验段密度的 98% ^a		T0924，每 2000m ² 测 1 处	3
2	平整度	标准差σ，不大于	1.3mm	2.5mm	T0932，连续	2
		IRI，不大于	2.2m/km	4.2m/km	T0933 或 T0934，连续	
		最大间隙率，不大于	-	5.0mm		
3	渗水系数，不大于		150mL/min		T0971，每 1500m ² 测 1 处	2
4	抗滑 ^b	构造深度，不小于	0.9mm（*0.6mm）		T0961，每1500m ² 测1处	2
		磨擦系数摆值，不小于	55BPN		T0964，每 1500m ² 测 1 处	2
5	厚度	平均值	总厚度不小于设计值			3
		合格值 ^c	-20% h	-20% H	T0912，双车道每 200m1 处	
6	宽度	有侧石	±20mm	±30mm	尺量，每 100m 测 2 断面	1
		无侧石，不小于	设计宽度			
7	横坡		±0.3%	±0.5%	水准仪，每 100m 测 1 断面	1
8	沥青含量（%）		满足生产配合比要求		T0722、T0721、T0735，每 台班 1 次	2
9	马歇尔稳定度		满足生产配合比要求		T0709，每台班 1 次	1

^a表内压实度可选用其中的 1 个或 2 个评定标准，选用两个标准时，以合格率低作为评定结果。

^b表内构造深度，带*者是 ECA-6.7 设计要求。

^c表列厚度仅规定负允许误差。H 为沥青层总厚度，h 为沥青上面层厚度。H≤60mm 时合格值允许偏差为-10mm，H＞60mm 时合格值允许偏差为-20%H

7.2.8 桥面铺装沥青混凝土面层实测项目见表 23。

表23 桥面铺装沥青混凝土面层实测项目

项次	检查项目		质量要求或允许偏差		检测方法和频率	权 值
			一级公路及以上	二级公路及以下		
1	压实度		试验室标准密度 96%；最大理论密度的 92% ^a		T0924，长度不大于 200m 时实 测 5 点，每增加 1000m 增加 2 点	3
2	最大间隙 h		5mm		3m 直尺，每 200m 测 2 处×10 尺	2
3	渗水系数，不大于		150mL/min		T0971，每 200m 测 1 处	2
4	构造深度，不小于		0.9mm（*0.6mm）		铺砂法：长度不大于200m时测5 处，每增加100m增加1处	2
5	厚度 ^c	合格值	+10mm，-5mm		水准仪：以同桥面板产生相同挠 度变形的点为基准点，测量桥面 铺装施工前后相对高差：长度 不大于 100m 时每车道测 3 处， 每增加 100m 每车道增加 2 处	3
6	平整度	标准差σ，不大于	1.2mm	2.5mm	平整度仪：全桥每车道连续检 测，每 100m 计算 σ、IRI	1
		IRI，不大于	2.0m/km	4.2m/km		
		最大间隙率，不 大于	3.0mm	5.0mm	3m 直尺：每 200m 测 2 处×5 尺	
7	横坡		±0.3%	±0.5%	水准仪：长度不大于 200m 时测 5 个断面，每增加 100m 增加 1 个断面	1

^a表内压实度可选用其中的 1 个或 2 个评定标准，选用两个标准时，以合格率低作为评定结果。

^b 表内构造深度，带*者是 ECA-6.7 设计要求。

^c 表列厚度仅规定负允许误差。

7.3 外观鉴定

7.3.1 表面应平整密实，不应有泛油、松散、裂缝和明显离析等现象。对于高速公路和一级公路，有上述缺陷的面积(凡属单条的裂缝，则按其实际长度乘以 0.2m 宽度，折算成面积)之和不得超过受检面积的 0.03%，其他公路不得超过 0.05%。不符合要求时每超过 0.03%或 0.05%减 2 分。

7.3.2 接缝处应紧密、平顺，不应存在枯焦或离析现象。不符合要求时，累计每 10m 长减 1 分。

7.3.3 面层与路缘石及其他构筑物应密贴顺接，不应有积水或渗水现象。不符合要求时，累计每 1 处减 1 分~2 分。

附录 A
(规范性附录)

易密实添加剂 pH 值、固含量和胺值指标试验方法

A.1 pH 值的测定

A.1.1 适用范围

本试验适用于表面活性剂类的易密实添加剂 pH 值的测定。

A.1.1.1 仪器、设备

仪器、设备要求如下：

- 1) pH 值测试仪 1 台，测量精度为 0.1pH 值，附有玻璃电极和甘汞电极，具有温度补偿装置；
- 2) 恒温浴 1 台，能控制浴温在 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；
- 3) 烧杯 1 个，容积 100mL；
- 4) 量筒 1 个，容积 50mL；
- 5) 玻璃棒 1 个；
- 6) 上述仪器设备中需经国家相关机构标定的从其规定。

A.1.1.2 取样

取三个试样，每个试样取约 50mL 易密实添加剂溶液。

A.1.1.3 试验步骤

试验步骤如下：

- 1) 按 pH 值测试仪说明书浸泡玻璃电极和校正仪器；
- 2) 易密实添加剂取样时应先充分搅拌，以确保取样均匀。
- 3) 用量筒量取约 50mL 易密实添加剂溶液倒入烧杯中作为试样；
- 4) 将盛有试样的烧杯放入 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的恒温浴中，待试样温度与恒温浴的温度达到稳定平衡后，将用蒸馏水冲洗过并用柔软的吸水纸擦干的电极插入烧杯中，测试过程中用玻璃棒保持适度搅拌，取连续三次测定不变值为 pH 值测定值，其值取到小数第一位；
- 5) 由于添加剂的缓释效应，pH 计读数如果能稳定保持不小于 0.5min，作为酸值测定值。
- 6) 按照 c、d 步骤再进行其余两个试样的 PH 值测定；
- 7) 若三个试样的 pH 值的差值大于 0.3，则应重新取三个试样再次测定，直至 pH 值的差值不大于 0.3 为止；
- 8) 测量完毕应立即用蒸馏水仔细将电极清洗干净后放置。

A.1.1.4 数据处理

取三个试验的 pH 值的算术平均值，其数值四舍五入至小数第一位作为试验结果。

A.1.2 固含量的测定

A.1.2.1 适用范围

本试验用于易密实添加剂溶液去除可挥发成分后残留物的测定。

A.1.2.2 仪器、设备

仪器、设备要求如下：

- 1) 烧杯 1 个，容积 1000mL；
- 2) 电子秤 1 台，精确度为 0.01g；
- 3) 烘箱 1 台；
- 4) 上述仪器设备中需经国家相关机构标定的从其规定。

A.1.2.3 取样

每个试样取约20g±0.02g易密实添加剂溶液。

A.1.2.4 试验步骤

试验步骤如下：

- 1) 常温下准确称取易密实添加剂 M (g)，放入洁净的 1000mL 烧杯中，记录易密实添加剂与烧杯的总质量 M1 (g)；
- 2) 将盛有添加剂的烧杯在 110℃烘箱中放置 5h 后取出，在干燥器皿中冷却至少 1h 后，称取其总质量为 M2 (g)；
- 3) 计算固含量百分比 R；
- 4) 同一试样至少平行试验两次，两次试验结果的差值不大于 0.4%时，取其算术平均值作为试验结果。

A.1.2.5 数据处理

按式 (A.1) 求出易密实添加剂固含量百分比R：

$$R = \frac{(M - M_1 + M_2)}{20} \times 100\% \quad \dots(\text{错误!文档中没有指定样式的文字。}.1)$$

式中：

R——固含量 (%)；

M——添加剂的质量 (g)；

M₁——添加剂与烧杯的总质量 (g)；

M₂——烧杯与固体质量 (g)。

A.1.3 胺值的测定

A.1.3.1 目的和适用范围

本试验适用于易密实添加剂胺值的测定。

A.1.3.2 化学试剂和设备

化学试剂和设备要求如下：

- 1) 异丙醇；
- 2) 0.5mol/L 的标准盐酸溶液；
- 3) 天平 1 台，精确度 0.001g；
- 4) 烧杯 1 个，250mL；
- 5) 磁力搅拌器 1 台；
- 6) 50mL 滴定管 1 支，精确度 0.1mL；
- 7) 蒸馏水；
- 8) 精密式 PH 值测试仪 1 台；
- 9) 上述仪器设备中需经国家相关机构标定的从其规定。

A.1.3.3 取样

- 1) 水剂型每次取样为 28g~30g，油剂型每次取样为 2g~3g。

A.1.3.4 试验步骤

试验步骤如下：

- 1) 取适量添加剂样品倒入烧杯中，记录实际重量，精确度为 0.001g；
- 2) 继续往烧杯里加入 90g±3g 异丙醇的水溶液（异丙醇质量：蒸馏水质量=75：25）；
- 3) 放入磁力搅拌转子，将烧杯放置于磁力搅拌器上，搅拌至充分溶解；
- 4) 用 pH 值为 7 的和 PH 值为 4 的标准溶液，标定 pH 值测试仪；

- 5) 往滴定管（50mL，精度 0.1mL）里加入 0.5mol/L 的标准盐酸溶液，缓慢扭动阀门，消除气泡后记录下盐酸溶液的初始刻度读数；
- 6) 将 pH 电极头放入溶液中，观测 pH 测试仪显示读数；
- 7) 缓慢地往烧杯里滴定加入 0.5 mol/L 的标准盐酸溶液，同时观测 pH 测试仪显示读数，当读数接近 3.5 时，逐滴地加入标准盐酸溶液，直到使 pH 值读数稳定在 3.48~3.52 之间；
- 8) 记录终点的滴管读数。初始刻度读数减去结束时读数为标准盐酸的用量；
- 9) 胺值计算，同一试样至少平行试验两次，两次试验结果的差值不大于 0.5mg/时，取其算术平均值作为试验结果。

A. 1. 3. 5 胺值计算公式

按式（A.2）计算胺值：

$$AN = \frac{V_a \times N \times 56.1}{S_a \times R} \dots\dots (\text{错误!文档中没有指定样式的文字。}.2)$$

式中：

AN——胺值（mgKOH/g）；

V_a ——滴定消耗的盐酸体积（mL）；

N ——盐酸标准溶液的摩尔浓度（mol/L）；

S_a ——实际添加的添加剂样品量（g）；

R ——添加剂固含量，水剂型取实测固含量，油剂型固含量取值1。

附录 B

（规范性附录）

熟化橡胶粉改性沥青实验室制备方法

B.1 适用范围

本试验适用于熟化橡胶粉改性沥青的制备。

B.2 仪器、设备

仪器、设备要求如下：

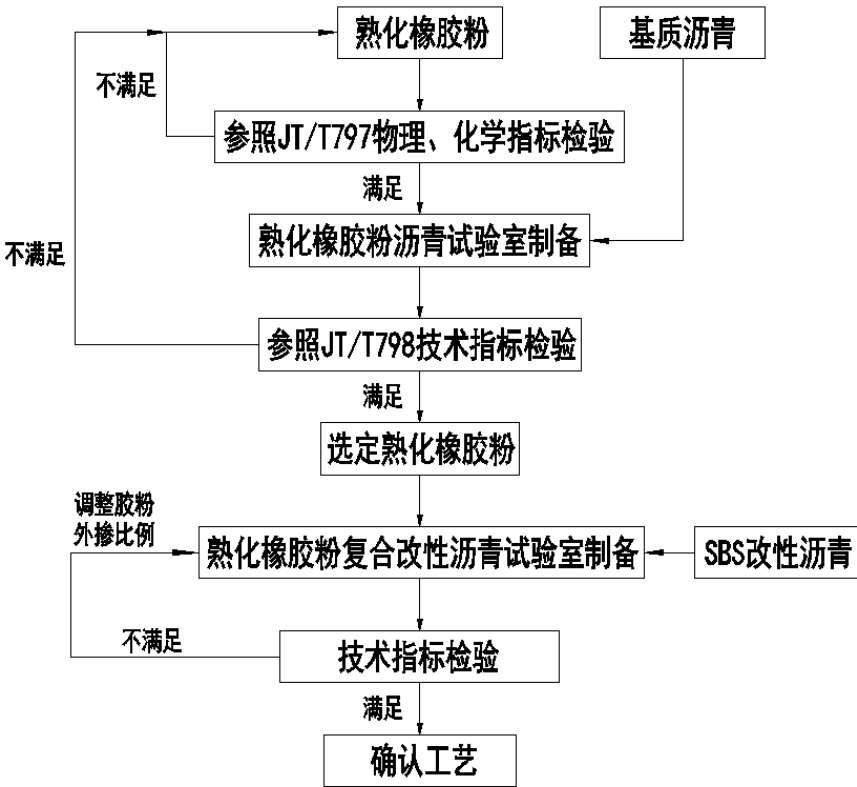
- 1) 高速剪切仪器 1 台，可调节转速，最高转速不低于 6000r/min；
- 2) 恒温浴 1 台，可调节转温度，控温范围建议为 100℃～200℃；
- 3) 耐高温容器若干，可承受 200℃ 以上加热温度，容积 500mL；
- 4) 烘箱 1 台，控温范围建议为 100℃～250℃；
- 5) 上述仪器设备中需经国家相关机构标定的从其规定。

B.3 沥青制备步骤

沥青制备步骤如下：

- 1) 待 70 号道路石油沥青加热至 170℃ 后，将熟化橡胶粉加入盛有沥青的容器中，多次少量加入，每次加入之后，手动搅拌至无明显颗粒再继续添加，如此反复直至所有改性橡胶粉全部加入；
- 2) 利用高速剪切仪器使改性橡胶粉充分与沥青混合反应，在剪切的过程中，需要注意温度的变化，保证温度在指定要求范围内；
- 3) 预剪切阶段，高速剪切仪转速维持 3000 ± 50 r/min，剪切时间 15min，剪切过程温度控制至 180 ± 3 ℃；
- 4) 正式剪切阶段，高速剪切仪转速维持 6000 ± 50 r/min，剪切时间 90min，剪切过程温度控制至 180 ± 3 ℃；
- 5) 高速剪切完成之后，将改性沥青置入 180℃ 的烘箱中发育 1～2h。在发育的过程中，沥青表面因化学反应产生气泡，气泡消散后发育完成。

B.4 试验流程



图B.1 复合改性橡胶粉沥青试验流程图

附录 C (规范性附录)

环保生态型薄层沥青混合料室内拌和试验要求

C.1 适用范围

本试验用于环保生态型薄层沥青混合料ECA混合料室内拌和试验。

C.2 仪器、设备

仪器、设备要求如下：

- 1) 实验室用沥青混合料拌和机 1 台，能保证拌和温度并充分拌和均匀，可控制拌和时间，容量不小于 10L；
- 2) 烧杯 1 个，50mL；
- 3) 电子秤 1 台，精确度为 0.01g；
- 4) 玻璃棒 1 个；
- 5) 烘箱 1 台；
- 6) 温度计 1 个，分度值 1℃，量程 0℃~300℃；
- 7) 手持式红外测温仪 1 个，精确度 1℃；
- 8) 电炉或煤气炉、沥青融化锅、拌和铲、秒表等；
- 9) 上述仪器设备中需经国家相关机构标定的从其规定。

C.3 试验步骤

C.3.1 水剂型易密实添加剂沥青混合料

试验步骤如下：

- 1) 为增加易密实添加剂的均匀性，将水剂型易密实添加剂与水按照 1:1 比例稀释，并用玻璃棒搅拌均匀；
- 2) 准备 50mL 烧杯，充分润湿后，按照比例称量水剂型易密实添加剂；
- 3) 将沥青加热至 160℃~170℃，集料、矿粉加热至 180℃~185℃，纤维和熟化橡胶粉无需加热，将沥青混合料拌和机提前预热至 180℃；
- 4) 将纤维、熟化橡胶粉和加热好的集料放入预热好的拌和锅中干拌 60s；
- 5) 将加热好的沥青按所需质量倒入拌锅，且不与集料接触；
- 6) 将添加剂倒在沥青液面上，避免倒在石料表面上；
- 7) 易密实添加剂与沥青发生反应，待其反应完全后，开始搅拌，搅拌时间约为 2min；
- 8) 倒入已加热的矿粉，再次拌和（宜不多于 1min）；
- 9) 将拌好后的混合料放入 180℃的烘箱内恒温 2 小时后可用于成型马歇尔试件。

C.3.2 油剂型易密实添加剂沥青混合料

试验步骤如下：

- 1) 室内试验中，将沥青加热至 160℃~170℃，计算易密实添加剂的添加量，准确称量后，在搅拌状态下缓慢将易密实添加剂倒入沥青中，随后搅拌约 10min，完成沥青添加易密实添加剂制备；
- 2) 集料、矿粉加热至 180℃~185℃，纤维和熟化橡胶粉无需加热，将沥青混合料拌和机提前预热至 180℃；
- 3) 将纤维、熟化橡胶粉和加热好的集料放入预热好的拌和锅中干拌 60s；

- 4) 将加热好的沥青按所需质量倒入拌锅，开始搅拌，搅拌时间约为 2min;
- 5) 倒入已加热的矿粉，再次拌和（宜不多于 1min）；
- 6) 将拌好后的混合料放入 180℃的烘箱内恒温 2 小时后可用于成型马歇尔试件。

附录 D

(规范性附录)

环保生态型薄层沥青混凝土碳排放计算

D.1 基本要求

D.1.1 道路碳排放计算应以单条道路或单个ECA技术应用项目为计算单元。

D.1.2 道路碳排放计算方法应针对ECA技术特性，在设计阶段进行低碳方案比选；在工程建造后核算ECA技术的碳足迹削减效果。

D.1.3 ECA路面碳排放计算应包括材料生产阶段、运输过程、建造阶段及铣刨阶段。

D.1.4 碳排放计算中的温室气体清单应包括二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）和一氧化二氮（N₂O）。

D.2 材料生产阶段碳排放计算

D.2.1 材料生产阶段碳排放应按下式计算：

$$Q_m = \sum_{i=1}^n F_i \times M_i \quad \text{.....(D.1)}$$

式中： Q_m ——材料生产阶段碳排放（kgCO₂e）；

n ——所有材料的数目；

F_i ——第 i 类材料的碳排放因子（kgCO₂e/单位材料数量）；

M_i ——第 i 类材料的消耗量。

D.2.2 道路的主要材料消耗量(M_i)可以通过以下方式获取：

a)通过收集施工现场的实测资料确定；

b)通过查询设计图纸、采购清单等工程建设相关技术资料确定；

c)通过沥青混合料等的配合比设计公式确定。

D.2.3 按照配合比设计公式计算道路沥青、改性沥青、纤维或熟化橡胶粉用量应按下式所示：

$$m_i = \frac{\rho_g \times V \times \alpha_i}{1000} \quad \text{.....(D.2)}$$

$$m_a = \frac{\rho_g \times V - \sum_{i=0}^i m_i}{1000} \quad \text{.....(D.3)}$$

式中： i ——沥青、改性沥青、纤维或熟化橡胶粉；

m_i ——第 i 类材料的消耗量（t）；

ρ_g ——毛体积密度（kg/m³）；

V ——ECA路面的体积（m³）；

α_i ——第 i 类材料占比，沥青为最佳沥青用量，纤维或熟化橡胶粉为含量（%）。

m_a ——矿料消耗（t）。

D.2.4 道路材料生产阶段的碳排放因子 F_i 宜选用经第三方审核的材料碳足迹数据。当无第三方提供时，缺省值可按表D.1相关规定取值。

表D.1道路材料碳排放因子

道路材料类别	碳排放因子
改性沥青	311 kgCO ₂ e/t
乳化沥青	412 kgCO ₂ e/t
消石灰（熟石灰、氢氧化钙）	747 kgCO ₂ e/t
砂(f=1.6~3.0)	2.51 kgCO ₂ e/t
矿粉	4.82 kgCO ₂ e/t
碎石	2.18 kgCO ₂ e/t

D.3 运输过程碳排放计算

D.3.1 材料运输阶段碳排放应按式(4)计算：

$$Q_{mt} = \sum_{i=1}^n \frac{M_{t,i}}{m_i} \times D_i \times U_i \times EF_{f,i} \quad \dots\dots\dots(D.4)$$

式中： Q_{mt} ——各阶段运输过程温室气体排放（kgCO₂e）；

n ——不同的运输过程；

$M_{t,i}$ ——第 i 个运输过程中需要运输材料的量（kg）；

m_i ——单位运输工具可以运输的材料量（kg）；

D_i ——材料需要运输的距离（km）；

U_i ——第 i 个运输过程的单位运输距离需要消耗的能源（kg/km 或 kWh/km）；

$EF_{f,i}$ ——能源碳排放因子（kgCO₂e/kg）；

$EF_{v,i}$ ——机械碳排放因子（kgCO₂e/km）。

D.3.2 运输过程的碳排放因子可按表D.2中相关规定取值。

表D.2 各类运输方式的碳排放因子[kgCO₂e/(t km)]

运输方式类别	碳排放因子
轻型汽油货车运输（载重 2t）	0.334
中型汽油货车运输（载重 8t）	0.115
重型汽油货车运输（载重 10t）	0.104
重型汽油货车运输（载重 18t）	0.104
轻型柴油货车运输（载重 20t）	0.286
中型柴油货车运输（载重 30t）	0.179
重型柴油货车运输（载重 10t）	0.162

重型柴油货车运输（载重 18t）	0.129
重型柴油货车运输（载重 30t）	0.078
重型柴油货车运输（载重 46t）	0.057
电力机车运输	0.010
内燃机车运输	0.011
铁路运输（中国市场平均）	0.010
液货船运输（载重 2000t）	0.019
干散货船运输（载重 2500t）	0.015
集装箱船运输（载重 200TEU）	0.012

D.3.3 道路材料运输过程宜优先采用实际的运输距离。当实际运输距离未知时，可按表D.3中的相关规定取值。

表D.3运输过程默认运输距离

过程	不同方式	运输过程	类别	运输距离（km）
道路施工材料的运输	厂拌	道路材料到加工厂	货车	90
		加工厂到施工现场	货车	20
旧路面材料处理	回收	施工现场到加工厂	货车	20
	废弃	施工现场到堆放场	货车	90

D.3.4 道路材料运输过程所采用的化石燃料碳排放因子应按表D.4选取。

表D.4道路运输过程化石燃料碳排放因子

分类	燃料类型	单位热值含碳量 (tC/TJ)	碳氧化率 (%)	单位热值排放因子 (tCO ₂ /TJ)
液体燃料	原油	20.1	0.98	72.23
	燃料油	21.1	0.98	75.82
	汽油	18.9	0.98	67.91
	柴油	20.2	0.98	72.59
	喷气煤油	19.5	0.98	70.07
	一般煤油	19.6	0.98	70.43
	NGL 天然气凝液	17.2	0.98	61.81
	ING 液化石油气	17.2	0.98	61.81
	炼厂干气	18.2	0.98	65.40
	石脑油	20.0	0.98	71.87
	润滑油	20.0	0.98	71.87
	石油焦	27.5	0.98	98.82
	石化原料油	20.0	0.98	71.87
	其他油品	20.0	0.98	71.87

气体燃料	天然气	15.3	0.99	55.54
------	-----	------	------	-------

D.3.5 道路材料运输过程应优先采用项目所在地电网发布的官方电力碳排放因子数据；如无相关数据，可采用全国电网平均碳排放因子数据。

D.4 建造阶段碳排放计算

D.4.1 道路建造阶段的碳排放量应按式(5)计算：

$$Q_c = \sum_{i=1}^m U_{c,i} \times EF_i \quad \text{.....(D.5)}$$

式中：\$Q_c\$——道路建造阶段消耗能源造成的温室气体排放（kgCO₂e）；

\$U_{c,i}\$——道路建造阶段第 \$i\$ 种能源的消耗量（kg 或 kWh）；

\$EF_i\$——第 \$i\$ 种能源的碳排放因子（kgCO₂e/kg 或 kgCO₂e/kWh）。

D.4.2 建造阶段的各能源的总使用量(\$U_{c,i}\$)可以通过以下方式获取：

- 通过收集施工现场的实测资料确定；
- 通过查询设计图纸、采购清单、预算定额等工程建设相关资料确定；
- 通过施工工序能耗估算法计算。

D.4.3 施工工序能耗估算法的能源消耗量应按式(6)计算：

$$U_{c,i} = \sum_{i=1}^n Q_{c,i} f_{c,i} \quad \text{.....(D.6)}$$

$$f_{c,i} = \sum_{j=1}^m T_{i,j} R_{i,j} + E_{jj,i} \quad \text{.....(D.7)}$$

式中：\$U_{c,i}\$——道路建造施工阶段 \$i\$ 种能源用量（kg 或 kWh）；

\$Q_{c,i}\$——分部分项工程中第 \$i\$ 个项目的工程量；

\$f_{c,i}\$——分部分项工程中第 \$i\$ 个项目的能耗系数（kg/单位工程量或 kWh/单位工程量）；

\$T_{i,j}\$——第 \$i\$ 个项目单位工程量第 \$j\$ 种施工机械台班消耗量(台班)；

\$R_{i,j}\$——第 \$i\$ 个项目第 \$j\$ 种施工机械单位台班的能源用量(kg/台班或 kWh/台班)，按表 28 确定，当有经验数据时，可按经验数据确定；

\$E_{jj,i}\$——第 \$i\$ 个项目中，小型施工机具不列入机械台班消耗量，但其消耗的能源列入材料的部分能源用量（kg 或 kWh）；

\$i\$——分部分项工程中的项目序号；

\$j\$——施工机械序号。

表D.5常用施工机械台班能源用量

机械/台班	性能规格	柴油(kg)	汽油(kg)	重油(kg)	电力(kWh)
洒水汽车	容量 (L)	6000	34.29		
		8000	47.20		
		10000	52.80		
轮胎式装载机	斗容量 (m ³)	2	92.86		
		2.5	102.52		
		3	115.15		

沥青混合料拌和设备	生产能力 (t/h)	120			5170.18	1618.42
		160			6893.57	1618.42
		240			10340.35	3895.09
沥青混合料摊铺机	摊铺宽度 (m)	4.5	42.06			
		6	46.63			
		9	96.00			
振动压路机(双钢轮)	自身质量 (t)	10	54.40			
		12	64.00			
		15	80.80			
轮胎式压路机	自身质量 (t)	9~16	33.60			
		16~20	42.40			
		20~25	50.40			
液态沥青运输车	容量 (L)	7000	45.26			
		9000	53.94			
		22000	90.97			
载货汽车	装载质量 (t)	8	44.95			
		10	50.29			
		12	57.14			
		15	61.72			
路面铣刨机	铣刨宽度 (mm)	500	28.91			
		1000	72.29			
		2000	190.46			
自卸汽车	装载质量 (t)	8	49.45			
		10	55.32			
		12	61.60			
		15	67.89			

D.4.4 道路建造阶段所采用的化石燃料碳排放因子应按表D.4选取。

D.4.5 施工临时设施消耗的能源应根据施工企业编制的临时设施布置方案和工期计算确定。

D.5 铣刨阶段碳排放计算

D.5.1 道路铣刨阶段的能源用量应按下列公式计算：

$$Q_d = \sum_{i=1}^m U_{d,i} \times EF_i \quad \dots\dots\dots(D.8)$$

式中： Q_d ——道路铣刨阶段造成的温室气体排放 (kgCO₂e)；

$U_{d,i}$ ——道路铣刨阶段能源的消耗量 (kg 或 kWh)；

EF_i ——能源碳排放因子 (kgCO₂e/kg 或 kgCO₂e/kWh)。

D.5.2 铣刨阶段的能源或机械设备总使用量可以通过以下方式获取：

a) 通过收集施工现场的实测资料确定；

b) 通过查询设计图纸、采购清单、预算定额等工程建设相关技术资料确定；

- c) 通过施工工序能耗估算法计算。
- D.5.3 道路铣刨阶段所采用的化石燃料碳排放因子按表D.5选取；电力碳排放因子参照D.3.5节选取。
- D.5.4 道路铣刨阶段施工机械单位台班的能源用量按表D.5选取。
- D.5.5 道路铣刨后的垃圾外运产生的能源用量应按本标准第D.3节的规定计算。

附 录 E
(资料性附录)
环保生态型薄层沥青混凝土应用实例

E.1 工程概况

G351台小线浦江县段公路等级为双向六车道一级公路，交通等级为重交通等级，金华市公路港航与运输管理中心对K266+400～K268+930、K269+930-K270+800路段采用功能性修复养护，处治方案为原路面病害处理后直接加铺25mm ECA-10环保生态型薄层沥青混凝土罩面。

E.2 原材料

沥青选用SBS改性沥青，技术要求按照表1执行；纤维选用聚酯纤维；粗集料选用玄武岩、细集料选用石灰岩、石灰岩矿粉，水洗筛分试验结果见表E.1。

表E.1集料、矿粉水洗筛分试验结果

矿料名称	通过下列筛孔（方孔筛，mm）的质量百分率（%）									
	13.2	9.5	6.7	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
1#料（5-10）	100.0	77.9	8.8	2.0	0.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
2#料（3-5）	100.0	100.0	100.0	38.2	7.4	1.6	0.4	0.4	0.4	0.3
机制砂（0-3）	100.0	100.0	100.0	100.0	79.2	57.4	35.5	23.8	16.1	9.5
矿粉	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4	95.2	86.6

E.3 级配设计

根据集料筛分试验成果，进行配合比设计，使合成级配曲线尽量接近目标级配曲线的中值，确保关键控制性筛孔6.7mm的满足设计要求，合成级配见表F.2。

表E.2环保生态型薄层沥青混凝土ECA-10沥青混合料级配设计

集料编号	1#料 (5-10)	2#料（3-5）	机制砂(0-3)	矿粉	合成级配	ECA-10 目标级配		
比例（%）	60	11	25	4		中值	上限	下限
筛孔(mm)	原材料计算结果(%)							
13.2	60.0	11.0	25.0	4.0	100.0	100	100	100

9.5	46.7	11.0	25.0	4.0	86.7	90	100	80
6.7	5.3	11.0	25.0	4.0	45.3	40	50	30
4.75	1.2	4.2	25.0	4.0	34.4	30	40	20
2.36	0.5	0.8	19.8	4.0	25.1	27	36	18
1.18	0.1	0.2	14.4	4.0	18.6	224	30	14
0.6	0.1	0.0	8.9	4.0	13.0	17.5	25	10
0.3	0.1	0.0	6.0	4.0	10.1	13.5	20	7
0.15	0.1	0.0	4.0	3.8	8.0	9	12	6
0.075	0.1	0.0	2.4	3.5	6.0	6	8	4

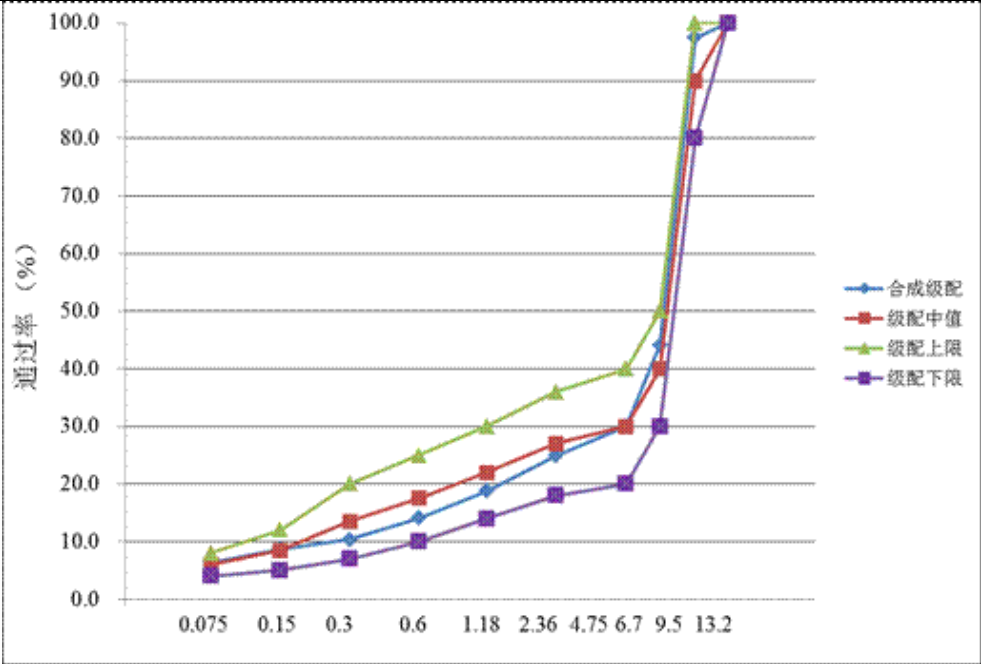


图 E.1 ECA-10 级配曲线图

E. 4 马歇尔击实试验

E. 4. 1 马歇尔击实试验

采用马歇尔试验确定环保生态型薄层沥青混凝土ECA最佳油石比，每组沥青混合料按照JTG E20—2011《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》的要求，预估油石比5.5%为中性，以0.3%间隔变化沥青用量，配置3种不同的油石比成型试件，其中油剂型易密实添加剂为沥青用量的0.5%，聚酯纤维为沥青混合料的0.25%，熟化橡胶粉为沥青用量的8%。

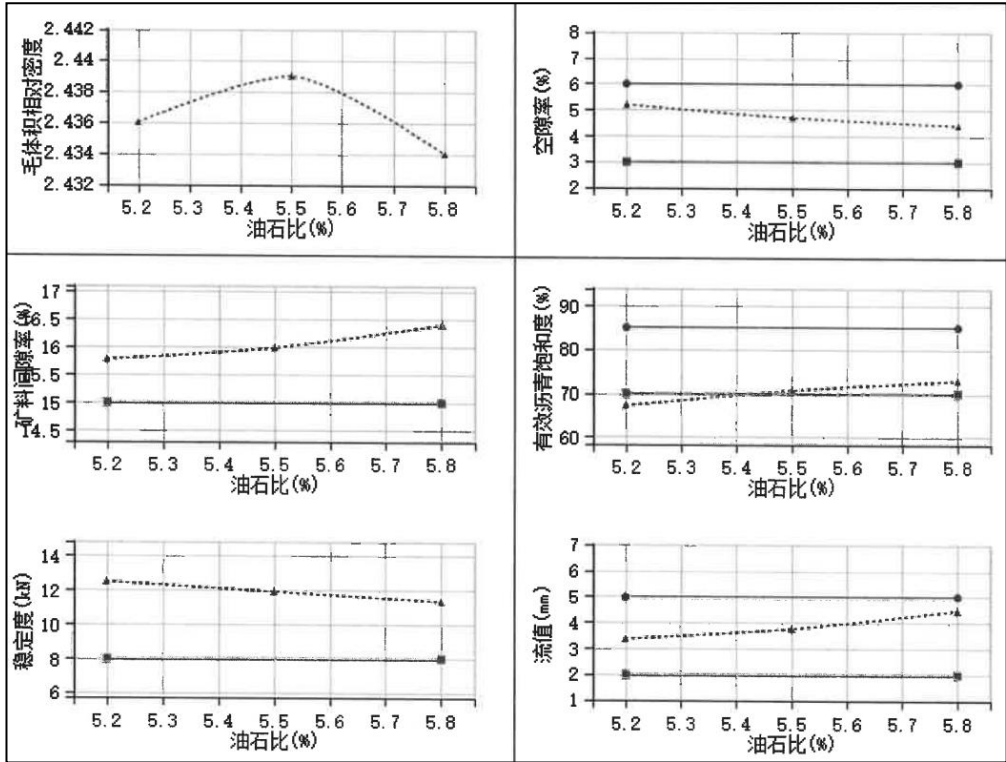
成型好的试件在测试其物理指标后，放入60℃的恒温水浴中保温30min~40min，测试其稳定度和流值，试验结果见表E.3：

表E.3 环保生态型薄层沥青混凝土ECA-10 马歇尔试验结果

油石比（%）	5.2	5.5	5.8	技术要求
毛体积相对密度	2.436	2.439	2.434	—
空隙率（%）	5.2	4.7	4.4	3.0~6.0
饱和度（%）	67.3	70.8	72.9	70~85

稳定度 (kN)	12.55	11.98	11.39	≥8
流值 (0.1mm)	34	38	45	20~50
矿料间隙率 (%)	15.8	16.0	16.4	≥15.0

E. 4. 2 确定最佳油石比



图E.2环保生态型薄层沥青混凝土ECA-10各技术指标与油石比关系曲线

根据马歇尔试验及计算结果，分别绘制稳定度、流值、空隙率、饱和度、密度与油石比关系曲线如图E.2，从曲线上找出相应于最大稳定度（5.2%）、最大密度（5.5%）、空隙率（5.6%）（允许范围中值）、沥青饱和度（5.6%）（允许范围中值）对应的四个油石比。

确定OAC1为5.47%，OACmin~OACmax为5.44%~5.8%，OAC2为5.62%，OAC1在OACmin~OACmax之间，满足要求。

$$OAC = (OAC1 + OAC2) / 2 = 5.54\%$$

综合考虑，选择5.5%作为环保生态型薄层沥青混凝土ECA-10沥青混合料的最佳油石比。

E. 5 性能验证

E. 5. 1 析漏、飞散试验

为了保证配合比设计的可靠性，在目标配合比设计阶段对于ECA-10沥青混合料进行了析漏、飞散试验。试验的试件均用马歇尔试验方法确定的最佳油石比成型，试验结果见表E.4。

表E.4环保生态型薄层沥青混凝土ECA-10析漏、飞散试验结果

测试项目	单位	ECA-10	技术要求
最佳油石比	%	5.5	—

析漏试验	%	0.06	≤0.2
飞散试验	%	3.12	≤15

E.5.2 浸水马歇尔试验

在最佳油石比条件下成型沥青混合料马歇尔试件，进行浸水马歇尔试验，试验结果见表E.5。

表E.5环保生态型薄层沥青混凝土ECA-10沥青混合料浸水马歇尔试验结果

测试项目			稳定度 (kN)	流值 (0.1mm)	平均 稳定度(kN)	平均 流值(0.1mm)	残留 稳定度 (%)
EAC-10	浸水 (30min~40min)	1	10.4	28	11.6	32	90.7
		2	11.5	29			
		3	12.4	35			
		4	12.2	36			
	浸水 (48h)	1	9.3	33	10.5	35	
		2	11.9	35			
		3	10.2	33			
		4	10.7	38			

E.5.3 冻融劈裂试验

E.5.4 在最佳油石比条件下成型沥青混合料马歇尔试件，进行冻融劈裂试验，试验结果见表E.6。

表E.6环保生态型薄层沥青混凝土ECA-10沥青混合料冻融劈裂强度试验结果

测试项目			劈裂强度(MPa)	劈裂强度平均值 (MPa)	冻融劈裂强度比 (%)
ECA-10	未冻融	1	1.037	1.065	84.2
		2	1.068		
		3	1.143		
		4	1.013		
	冻融	1	0.903	0.884	
		2	0.981		
		3	0.841		
		4	0.81		

E.5.5 车辙试验

在最佳油石比条件下以碾压法成型尺寸300mm×300mm×50mm的试件，在60℃温度下以轮压为0.7MPa的实心橡胶轮做1h的反复碾压车辙试验，试验结果见表E.7。

表E.7环保生态型薄层沥青混凝土ECA-10沥青混合料车辙试验结果

混合料类型	动稳定度 (次/mm)	动稳定度平均值 (次/mm)	总变形量 (mm)	动稳定度技术要求 (次/mm)
ECA-10	4189	4284	1.806	≥3000

	4438		1.983	
	4227		1.879	

E.5.6 低温性能试验

将轮碾成型的车辙板试件用切割法制作棱柱体试件，试件尺寸：250mm±2mm、宽30mm±2mm、高35mm±2mm。在试验温度-10℃、加载速率为50mm/min的条件下进行三点加载试验，试验结果见表E.8。

表E.8环保生态型薄层沥青混凝土ECA-10小梁低温弯曲试验结果

混合料类型	抗弯拉强度 (MPa)	劲度模量(MPa)	破坏应变 (με)	应变能密度 (kJ m ⁻³)
ECA-10	11.12	3310	2654	8.32
	10.43	3118	2518	8.98
	11.78	3231	2777	8.42

E.5.7 渗水试验

在成型好的车辙板试件上进行渗水试验，试验结果见表E.9。

表E.9环保生态型薄层沥青混凝土ECA-10沥青混合料渗水试验结果

沥青混合料类型	渗水系数 (mL/min)
ECA-10	48
技术要求	≤150

E.5.8 抗滑性能试验

E.5.8.1 构造深度试验

在成型好的车辙板试件上，进行构造深度试验，试验结果见表E.10。。

E.5.8.2 摆值试验

在成型好车辙板试件上，进行摆值试验，试验结果见表E.10。

表E.10 环保生态型薄层沥青混凝土ECA-10沥青混合料抗滑性能

沥青混合料类型	构造深度 (mm)	摆值 (BPN)
ECA-10	1.10	62
技术要求	≥0.6	≥55

E.6 施工工艺

E.6.1 机械配置

表E.11 机械配置表

序号	设备名称	数量
1	沥青砼拌和楼	1
2	摊铺机	2

3	钢轮压路机	5
4	胶轮	3
5	沥青洒布车	1
6	空压机	1
7	洒水车	1
8	自卸车	7
9	自卸车	8

E. 6.2 黏层洒布

改性乳化沥青于施工当日清晨生产，由沥青洒布车运输至施工路段，于早晨8点开始喷洒，目标洒布量为 $0.4\text{kg}/\text{m}^2$ ，2小时后黏层乳化沥青破乳成型。



图 E.3 黏层洒布

E. 6.3 易密实添加剂添加至沥青储存罐

采用油剂型易密实添加剂，于拌和施工前1至2天加入沥青储存罐（沥青质量的0.5%）。加入易密实添加剂后，打开沥青储存罐搅拌装置（也可采用两个储存罐进行一个循环）以保证易密实剂分散均匀。



图 E.4 油剂型易密实添加剂添加至沥青储存罐

E. 6.4 拌和、焖料、摊铺、碾压

拌和：拌合楼型号为Marini玛连尼4000，ECA生产时单盘拌和量采用3吨，聚脂纤维用量0.25%，先称好每锅用量，每包7.5公斤包装，每拌和一锅，由人工整包投入搅拌锅；熟化橡胶粉风力泵送至拌和锅内，沥青混合料出料温度 180°C 。

运输：出料装车后，覆盖帆布保温并焖料约2小时后开始卸料摊铺。

摊铺：摊铺宽度为13.0m，摊铺碾压式采用了两机梯队作业，混合料摊铺温度170℃。

碾压：配备了2台初压双钢振动钢轮压路机，2台复压胶轮压路机，1台终压双钢钢轮压路机，初压温度165℃。



图 E.5 ECA-10 拌和、摊铺、碾压

E. 6. 5 现场检测试验结果

E. 6. 5. 1 压实度试验

本工程采用随机抽检的方式对摊铺路段钻芯取样，芯样个数为7个。芯样位置及现场描述、芯样高度及压实度如表E.12、表E.13所示。

表E.12 路面取样位置及现场描述

芯样编号	桩号	位置
1	K266+550	行车道 1 中
2	K267+010	行车道 2 左

3	K267+600	超车道左
4	K268+050	行车道 1 右
5	K268+650	超车道中
6	K270+050	行车道 1 右
7	K270+600	行车道 2 右

表E.13 路面芯样高度及压实度

芯样 编号	芯样高度 (mm)	芯样 毛体积密度 (g/cm ³)	试验室标准密度 (g/cm ³)	最大理论密度 (g/cm ³)	压实度 (%)	
					毛体积密度/试 验室标准密度	毛体积密度/ 最大理论密度
1	24	2.390	2.439	2.513	98.0	94.4
2	25	2.402	2.439	2.513	98.5	94.8
3	26	2.395	2.439	2.513	98.2	94.6
4	23	2.402	2.439	2.513	98.5	94.8
5	26	2.410	2.439	2.513	98.8	95.1
6	26	2.400	2.439	2.513	98.4	94.7
7	24	2.398	2.439	2.513	98.3	94.7
代表值	24	--	--	--	98.4	94.6
要求	--	--	--	--	≥98	≥94



图 E.6 钻芯取样照片

E. 6. 5. 2 渗水试验

本工程随机抽检6个断面，共计18个点位进行渗水试验，试验结果如表E.14所示。

表E.14 渗水试验实测结果

桩号	实测点位置	渗水系数 (ml/min)	渗水系数总平均值 (ml/min)	渗水设计要求
K266+450	超车道	38	76	≤150ml/min
	行车道 1	62		
	行车道 2	78		
K267+950	超车道	56	76	≤150ml/min
	行车道 1	113		

	行车道 2	97		
K268+350	超车道	56		
	行车道 1	89		
	行车道 2	104		
K268+900	超车道	98		
	行车道 1	92		
	行车道 2	58		
K269+950	超车道	89		
	行车道 1	38		
	行车道 2	63		
K270+600	超车道	72		
	行车道 1	101		
	行车道 2	68		

E.6.5.3 抗滑试验

本工程随机抽检6个断面，共计18个点位进行渗水试验，试验结果如表E.15所示。

表E.9 抗滑试验实测结果

桩号	实测点位置	构造深度 TD (mm)	平均构造深度 (mm)	20℃ 摆值 (BPN)	平均摆值 (BPN)
K266+450	超车道	0.81	0.83	62.5	61.8
	行车道 1	0.83		63.7	
	行车道 2	0.85		59.2	
K267+950	超车道	0.79	0.81	60.1	59.9
	行车道 1	0.78		61.3	
	行车道 2	0.85		58.4	
K268+350	超车道	0.84	0.94	64.1	64.4
	行车道 1	0.98		64.1	
	行车道 2	1.01		65.0	
K268+900	超车道	0.89	0.83	59.9	59.4
	行车道 1	0.82		59.5	
	行车道 2	0.79		58.7	
K269+950	超车道	0.91	0.94	61.7	62.2
	行车道 1	0.99		63.4	
	行车道 2	0.93		61.5	
K270+600	超车道	0.85	0.84	63.6	63.0
	行车道 1	0.79		62.9	
	行车道 2	0.87		62.5	