



T/CECS G XXXX:

中国工程建设协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

公路碎石封层养护技术规程

Technical Specifications of Chip Seal for Highway Maintenance

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

(空白)

征求意见稿

中国工程建设协会标准

公路碎石封层养护技术规程

Technical Specifications of Chip Seal for Highway Maintenance

T/CECS G: XXX-XX-XXXX

主编单位：交通运输部公路科学研究所

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：20XX年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

北京

目 次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	3
3 基本规定.....	4
4 材料.....	6
4.1 乳化沥青.....	6
4.2 集料.....	9
4.3 其他材料.....	10
5 碎石封层设计.....	12
5.1 一般规定.....	12
5.2 碎石封层选择及推荐用量范围.....	15
5.3 碎石封层集料用量设计.....	17
5.4 碎石封层乳化沥青用量设计.....	19
6 碎石封层施工.....	22
6.1 一般规定.....	22
6.2 施工准备.....	22
6.3 试验段铺设.....	23
6.4 碎石封层施工工艺.....	23
7 质量控制与验收.....	26
7.1 材料与设备检查.....	26
7.2 施工过程的质量控制.....	26
7.3 交工验收阶段的质量检查与验收.....	27
附录 A 破乳性能试验.....	29
附录 B 碎石封层板冲击试验.....	31
附录 C 碎石封层初期成型扫刷试验.....	35
附录 D 集料中值粒径测试方法.....	39
附录 E 某省道沥青路面碎石封层组成设计实例.....	41
本规程用词用语说明.....	46

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2019 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2019〕22 号）的要求，由交通运输部公路科学研究所承担《公路碎石封层养护技术规程》（以下简称“本规程”）的制定工作。

编写组在总结碎石封层技术十余年来工程经验和相关科研成果的基础上，对碎石封层材料、设计、施工、质量控制与验收等做出规定。

本规程分为 7 章、5 个附录，主要内容包括：1 总则、2 术语和符号、3 基本规定、4 材料、5 碎石封层设计、6 碎石封层施工、7 质量控制与验收、附录 A 破乳性能试验、附录 B 碎石封层板冲击试验、附录 C 碎石封层初期成型扫刷试验、附录 D 集料中值粒径测试方法、附录 E 某省道沥青路面碎石封层组成设计实例。

本规程基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本规程相关条文时，应对其适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由交通运输部公路科学研究所负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或秦永春（地址：北京市海淀区西土城路 8 号，交通运输部公路科学研究所，邮编 100088；电话：010-62079525；传真：010-62079538；电子邮箱：yc.qin@rioh.cn），以便修订时研用。

主 编 单 位：交通运输部公路科学研究所

参 编 单 位：

主 编：

主要参编人员：

主 审：侯 芸

参与审查人员：

1 总则

1.0.1 为指导公路养护用碎石封层的设计、施工、质量控制与验收，保证工程质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于一级及一级以下各等级公路沥青路面养护采用碎石封层技术的工程。

1.0.3 碎石封层的施工应遵守国家环保法规，保护环境。

1.0.4 碎石封层的施工应保证安全，做好劳动保护。

1.0.5 碎石封层养护技术的应用应积极稳妥地采用新技术、新材料、新设备、新工艺。

1.0.6 碎石封层的应用除应符合本规程规定外，尚应符合现行国家及行业有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 碎石封层 chip seal

采用专用设备将沥青结合料、单一粒径碎石同步或异步洒（撒）布在沥青路面上形成的封层。

2.1.2 同步碎石封层 synchronous chip seal

采用专用同步碎石封层车，将沥青结合料、碎石同步洒（撒）布在路面上而形成的碎石封层。

2.1.3 异步碎石封层 asynchronous chip seal

采用沥青洒布车、碎石撒布车，将沥青结合料和碎石先后洒（撒）布在路面上而形成的碎石封层。

2.1.4 纤维碎石封层 fiber chip seal

采用专用设备在沥青路面上同步洒（撒）布一层改性乳化沥青、纤维和一层改性乳化沥青，之后撒布碎石形成的封层。

2.1.5 碎石封层板冲击试验 plate shock test for chip seal

将按照特定方法成型的试件放置在规定的试验台上，用钢球以一定高度自由落于试件中心，测定经冲击振落的碎石数占总碎石数的百分比，记为碎石脱落率，用于评估碎石封层碎石与沥青结合料的黏附性。

2.1.6 碎石封层扫刷试验 sweep test for chip seal

将按照特定方法养生的试件置于规定的扫刷试验仪上进行扫刷，测定初期成型试件扫刷后损失质量与扫刷前的质量比，记为初期成型扫刷损失率，用于评估碎石封层养生初期成型阶段的抗扫刷能力。

2.2 符号

AADT (Annual Average Daily Traffic) 一年平均日交通流量;

ALD (Average Least Dimension) 一设计平均最小层厚;

FI (Flakiness Index) 一集料针片状颗粒含量;

PCI (Pavement Surface Condition Index) 一路面状况指数;

RDI (Pavement Rutting Depth Index) 一路面车辙深度指数;

RQI (Pavement Riding Quality Index) 一路面行驶质量指数。

征求意见稿

3 基本规定

3.0.1 本规程规定的碎石封层适用于一级及一级以下公路沥青路面养护。

条文说明

碎石封层技术除了可以用于一级及一级以下公路路面养护上封层外，也可以用于各等级公路新建、改建沥青路面工程的下封层、应力吸收层、水泥混凝土桥面防水粘结层等。

碎石封层技术用于路面养护上封层时直接承受行车和环境的作用，使得在原材料选择、施工工艺控制等方面比下封层和应力吸收层要严格。碎石封层技术用于下封层、应力吸收层、三级及以下公路新建改建工程沥青面层等时，可参照本规程执行。

3.0.2 采用碎石封层进行沥青路面养护，公路路况水平应符合表 3.0.2 的规定。

表 3.0.2 碎石封层适用的公路路况水平

路况指数 ^a	二级及以上公路	三级及四级公路
PCI、RQI、RDI	≥82	≥80

注：^a路况指数（PCI、RQI、RDI）须同时满足要求。

3.0.3 碎石封层可单层或多层铺筑，铺筑后碎石封层应与原路面黏结牢固。

3.0.4 碎石封层用沥青结合料宜选用乳化沥青。

条文说明

碎石封层应用于下封层、应力吸收层时，沥青结合料可采用热沥青、乳化沥青，工程上使用热沥青偏多，但碎石封层作为养护手段用于上封层（表面磨耗层）时，沥青结合料采用热沥青非常少，主要由于热沥青喷洒到路面后温度下降很快，如果施工工艺控制不严格，结合料与碎石的粘结裹附效果受影响，后期通车碎石易出现脱落掉粒现象。据调查美国碎石封层养护项目上，50 个州仅有 3 个州使用热沥青结合料（主要用于夜间、开放交通时间有特殊要求的情况），加拿大养

护碎石封层沥青结合料基本全部采用乳化沥青，不选用热沥青。国内外在碎石封层养护项目上沥青结合料多采用乳化沥青是由于乳化沥青相比于热沥青有诸多优势，包括乳化沥青对碎石裹附性好、施工温度低避免工作人员烫伤、施工环境友好等。在特殊条件下，碎石封层用沥青结合料如采用热沥青时，应对施工环境、施工材料选择及用量、施工机械、施工工艺进行综合考虑，并做好充分的验证工作；SBS 改性沥青可参照现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）的有关规定，橡胶沥青可参照现行《公路工程废胎胶粉橡胶沥青》（JT/T 798）的相关规定。

3.0.5 碎石封层施工前应进行详实的碎石封层设计，必要时，应由具有丰富设计经验的实验室进行验证性复核，并出具复核报告。

3.0.6 碎石封层施工可采用同步法或异步法，采用异步法施工时，应尽量缩短乳化沥青洒布、碎石撒布、碾压各工序的间隔时间。

条文说明

在特殊条件下，用于公路路面养护的碎石封层采用热沥青作为结合料时，因为热沥青洒布到路面后降温过快，不宜采用异步法施工。

4 材料

4.1 乳化沥青

4.1.1 碎石封层用乳化沥青，包括普通乳化沥青和改性乳化沥青两种。

4.1.2 碎石封层用乳化沥青应符合表 4.1.2 的技术要求。

表 4.1.2 碎石封层用乳化沥青技术要求

试验项目		单位	技术要求		试验方法
			普通乳化沥青	改性乳化沥青	
破乳率		%	≥60	≥50	附录 A
粒子电荷 ^a		—	正电荷	正电荷	T 0653
筛上剩余量（0.6mm）		%	≤0.1	≤0.1	T 0652
黏度 ^b	赛波特黏度 50℃	s	40~400	40~400	T0623
	恩格拉黏度 E _v 50℃	—	10~100	10~100	T0622
储存稳定性	1d	%	≤1	≤1	T0655
	5d	%	≤5	≤5	
蒸发残留物含量		%	≥63	≥65	T0651
与粗集料的黏附性，裹附面积 ^c		—	≥2/3	≥2/3	T0654
蒸发残留物性质	针入度（25℃，100g，5s）	0.1mm	55~150	50~120	T0604
	软化点（70 号、90 号基质沥青）	℃	≥45	≥52 ^d	T0606
	软化点（110 号、130 号基质沥青）	℃	≥40	≥43	
	延度（5℃）	cm	—	≥40	T0605
	延度（15℃）	cm	≥40	—	T0605
	溶解度（三氯乙烯）	%	≥97.5	≥97.5	T0607

注：^a如在特殊条件确需使用阴离子乳化沥青，应结合项目所处环境及集料种类进行充分的论证，并满足表 4.1.2 乳化沥青技术要求（粒子电荷试验项目除外）。

^b 乳化沥青的赛波特黏度和恩格拉黏度两者任选一种，推荐选用赛波特黏度。

^c 黏附性试验应选用工程实际使用的粗集料，否则予以注明。

^d 南方炎热地区重载交通道路使用 70#基质沥青制备的改性乳化沥青，其蒸发残留物的软化点宜

不低于 57℃。

条文说明

表 4.1.2 规定的乳化沥青技术要求,是以《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004) (下称“04 版施工技术规范”)中乳化沥青技术要求为基础并结合碎石封层养护使用中的特点修正后提出的。本规程提出的乳化沥青技术要求与 04 版施工技术规范的要求主要存在以下不同。

(1) 破乳率指标。乳化沥青破乳率指标主要评价乳化沥青破乳速度。碎石封层养护用乳化沥青破乳速度直接影响开放时间。相比于 04 版施工技术规范,本规程采用破乳性试验确定乳化沥青破乳速度,破乳性试验通过滴加化学试剂确定乳化沥青破乳速度,相比较于采用标准集料得出的乳化沥青破乳速度,试验降低人为因素,试验结果准确量化。国际稀浆罩面协会 (ISSA) 标准中要求碎石封层用乳化沥青 (CRS-2P、RS-2P) 破乳率不小于 40%,乳化沥青 (CRS-2、CRS-2h) 破乳率不小于 60%,美国 AASHTO 标准要求乳化沥青 (CRS-1、CRS-2、CRS-2P、CRS-2hP) 破乳率不小于 40%,美国 Ohio 州要求乳化沥青 (CRS-2P) 破乳率不小于 50%,乳化沥青 (CRS-1P、HFRS-1P) 破乳率不小于 60%。美国 Texas 州要求乳化沥青 (CRS-2、CRS-2h) 破乳率不小于 70%,乳化沥青 (RS-1P) 破乳率不小于 60%,乳化沥青 (HFRS-2) 破乳率不小于 50%。考虑我国碎石封层养护用乳化沥青使用情况,确定普通乳化沥青破乳率不小于 60%,改性乳化沥青破乳率不小于 50%。

(2) 蒸发残留物含量指标。《公路沥青路面预防养护技术规范》(JTG/T 5142-01—2021) 要求碎石封层用普通乳化沥青蒸发残留物含量不得小于 60%,不宜小于 62%,改性乳化沥青蒸发残留物含量不得小于 62%,不宜小于 65%。国际稀浆罩面协会 (ISSA) 标准要求碎石封层用乳化沥青蒸发残留物含量不小于 65%,美国 AASHTO 标准要求乳化沥青 (CRS-2P、CRS-2hP) 蒸发残留物含量不小于 65%,美国部分州标准要求乳化沥青蒸发残留物含量不小于 68%。据调查美国很多碎石封层用乳化沥青的生产商都会将蒸发残留物含量做到 68%以上,甚至部分做到 70%以上,考虑到我国的实际情况,确定普通乳化沥青蒸发残留物含量不小于 63%,改性乳化沥青蒸发残留物含量不小于 65%,如果生产商有能力可以做更高蒸发残留物含量的乳化沥青。

(3) 黏度指标。04 版施工技术规范使用的黏度指标是恩格拉黏度和标准黏

度,已有研究表明标准黏度、恩格拉黏度、赛波特黏度之间有较好的相关性,三种黏度都是流出型黏度,没有本质的区别。为使黏度指标更好的与国际接轨,结合试验条件控制的严格程度,决定同时采用赛波特黏度和恩格拉黏度,并推荐采用赛波特黏度。

对于碎石封层用乳化沥青的黏度与蒸发残留物含量有很强的相关性,当乳化沥青的蒸发残留物含量高时,其黏度就会增加。适度提高乳化沥青的黏度,可使乳化沥青喷洒到路面上后不至于到处流淌,也有利于单一粒径碎石的裹附和碎石封层的初期成型。国际稀浆罩面协会(ISSA)标准要求碎石封层用乳化沥青赛波特黏度(50℃)100~400s,美国 AASHTO 标准要求乳化沥青(CRS-2、CRS-2P、CRS-2hP)赛波特黏度(50℃)100~400s,美国部分州标准要求乳化沥青(CRS-2)赛波特黏度(50℃)200~500s。由于美国很多乳化沥青生产商将蒸发残留物含量做到68%以上,使得乳化沥青的赛波特黏度(50℃)可以达到赛波特黏度下限100s,但对于我国应用现状来说该下限制定得过高。本规程根据蒸发残留物含量为65%的乳化沥青确定黏度下限,而黏度上限则借鉴美国 AASHTO 标准确定,即赛波特黏度(50℃)的范围确定为40~400。

(4) 针入度指标。04 版施工技术规范要求普通乳化沥青针入度为50~200(非特殊说明针入度测试温度均为25℃),改性乳化沥青针入度为40~120。美国 AASHTO 标准乳化沥青(CRS-2)针入度100~250,乳化沥青(CRS-2P)针入度90~150。由于现阶段我国使用的基质沥青多为70号和90号,生产的乳化沥青蒸发残留物针入度一般不超过100,美国 AASHTO 标准乳化沥青针入度下限值过高。从碎石封层性能角度,碎石封层用乳化沥青蒸发残留物针入度适当提高,有利于发挥沥青结合料的黏性,从而提高结合料与碎石的黏附能力;另外适当提高乳化沥青蒸发残留物的针入度,可改善结合料的低温性能,降低低温环境沥青结合料变脆而导致的碎石脱粒问题。考虑到我国的实际情况,确定碎石封层用普通乳化沥青蒸发残留物针入度范围为55~150,改性乳化沥青蒸发残留物针入度范围为50~120。

(5) 软化点指标。基于我国碎石封层用乳化沥青多使用70号和90号基质沥青的情况,04 版施工技术规范使用要求改性乳化沥青软化点不小于50℃,但美国、法国等国家碎石封层用乳化沥青多使用90号以上的基质沥青制备,考虑

到我国的实际情况以及碎石封层质量,按照所使用基质沥青分两档提出技术要求。其中,采用 70 号、90 号沥青制备的乳化沥青更适用于气温偏高、交通量较大的地区,而采用 110 号、130 号制备的乳化沥青更适用于气温偏低,交通量较小的地区。参考 04 版施工技术规范、美国、法国的指标要求,并结合我国的实际情况,确定碎石封层用普通乳化沥青(70 号、90 号)蒸发残留物软化点不小于 45℃,改性乳化沥青(70 号、90 号)蒸发残留物软化点不小于 52℃,碎石封层用普通乳化沥青(110 号、130 号)蒸发残留物软化点不小于 40℃,改性乳化沥青(110 号、130 号)蒸发残留物软化点不小于 43℃。

4.1.3 碎石封层用改性乳化沥青中改性剂的剂量(改性剂有效成分占纯沥青的质量百分比)不宜小于 3%。

4.2 集料

4.2.1 碎石封层用集料宜选择坚硬耐磨的玄武岩、辉绿岩、石灰岩等岩石破碎而成。集料应干燥、洁净,无杂质、无风化、表面粗糙且为单一粒径碎石。

4.2.2 碎石封层用集料应符合表 4.2.2-1 的要求。

表 4.2.2-1 碎石封层用集料技术要求

试验项目	单位	技术要求		试验方法
		二级及以上公路	三级和四级公路	
压碎值	%	≤20	≤20	T 0316
洛杉矶磨耗损失	%	≤25	≤28	T 0317
磨光值 ^a	BPN	≥42	≥38	T 0321
表观相对密度	—	≥2.6	≥2.5	T 0304
吸水率	%	≤2.0	≤2.0	T 0304
坚固性	%	≤12	≤12	T 0314
针片状含量	%	≤10	≤10	T 0312
水洗法<0.075mm 颗粒含量	%	≤1	≤1	T 0310
软石含量	%	≤2	≤2	T 0320

注:^a当碎石封层用于路表磨耗层时,应满足磨光值要求;用于双层碎石封层下层可不作要求。

条文说明

碎石封层用集料采用水洗法筛分后集料 $<0.075\text{mm}$ 颗粒含量不满足表 4.2.2-1 的要求, 洁净度不足时则需要对集料进行处理。主要的处理方法有三种, 一是对集料进行水洗; 二是采用烘干除尘处理; 三是采用乳化沥青对集料进行预裹附, 预裹覆集料的沥青用量可参照表 4.2.2-2 的要求。

表 4.2.2-2 预裹覆集料的推荐沥青用量

集料规格 (mm)	2.36~4.75	4.75~9.5	9.5~13.2	16~19
沥青用量 ^a (质量比, %)	0.3~0.5	0.2~0.4	0.2~0.3	0.15~0.25

注: ^a 沥青用量为纯沥青用量, 乳化沥青具体用量根据其固含量进行折算。

4.2.3 碎石封层根据集料的粒径大小分为四种规格, 各规格集料应符合表 4.2.3 的要求。

表 4.2.3 碎石封层用集料规格要求

集料规格 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率							
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	0.075
2.36~4.75			—	—	100	95~100	5~10	0~1
4.75~9.5			—	100	95~100	5~10	—	0~1
9.5~13.2			100	95~100	5~10	—	—	0~1
16~19	100	95~100	5~10	—	—	—	—	0~1

注: 16~19mm 规格集料主要用于双层碎石封层下层。

4.3 其他材料

4.3.1 碎石封层用纤维可选玻璃纤维、聚酯纤维、矿物纤维等, 状态宜为卷轴式纤维盘, 现场切割长度宜为 6cm。玻璃纤维应符合《玻璃纤维无捻粗纱》(GB/T 18369) 的规定, 聚酯纤维、矿物纤维应符合《沥青路面用纤维》(JT/T 533) 的规定。

4.3.2 用于碎石封层的添加剂应在设计中确定添加剂的种类和剂量, 添加剂的

掺入不应对碎石封层性能产生不利的影响。

条文说明

同一添加剂对碎石封层体系的作用可能不同,不同碎石封层体系对各种添加剂的敏感程度也不同,因此不能照搬照抄已有的经验,而应针对工程实际通过试验确定添加剂的具体作用和用量。

征求意见稿

5 碎石封层设计

5.1 一般规定

5.1.1 碎石封层设计应充分考虑公路等级、原路面状况、交通量、气候等因素，选择适宜的碎石封层类型、集料规格、乳化沥青种类、施工工艺和施工设备等。

5.1.2 路面存在龟裂、网裂等病害路段可优先考虑使用纤维碎石封层。

条文说明

纤维碎石封层具有独特的网络缠绕结构，由于纤维本身具有高抗拉伸强度的特性，有效地提高了封层的抗拉、抗剪、抗压和抗冲击强度。纤维碎石封层的独特结构，对应力具有较强的吸收和分散功能，能够有效地抑制反射裂缝出现，但纤维碎石封层仍是一种预防养护手段，不适用于结构性损坏路段。

5.1.3 碎石封层设计主要应包括碎石封层类型选择、集料的规格和撒布量设计、乳化沥青的选择和洒布量设计等。

条文说明

碎石封层的类型选择主要考虑碎石封层设计的层数、是否使用纤维等，具体包括单层式碎石封层、双层式碎石封层、单层式纤维碎石封层、双层式纤维碎石封层等。

5.1.4 碎石封层组成设计步骤可参照图 5.1.4。

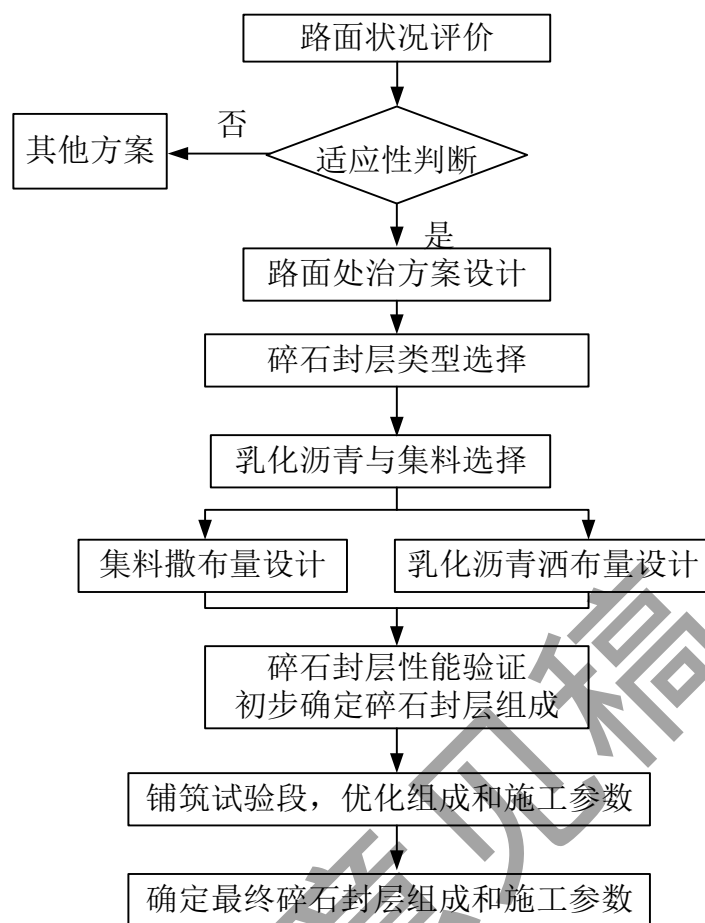


图 5.1.4 碎石封层组成设计流程

条文说明

适应性判断主要对公路等级、原路面状况、交通量、气候等因素综合分析，判断碎石封层是否满足该路段沥青路面养护需求，其中原路面状况应符合 3.0.2 中的规定。

5.1.5 碎石封层设计宜采用经验法，碎石封层乳化沥青、集料用量应符合表 5.2.2-1 推荐范围。当设计经验不足难以确定乳化沥青和集料用量时，可采用计算法（见 5.3 和 5.4）计算碎石封层的乳化沥青和集料用量，辅助碎石封层设计；经验法确定的乳化沥青和集料用量可采用计算法进行复核，如两种设计方法确定的材料用量差距较大时，应检查经验法过程是否有误，如检查无误后，以经验法确定的碎石封层材料用量为准。

条文说明

碎石封层设计受气候环境、路面状况、交通量、沥青结合料种类、集料种类（集料毛体积密度、针片状含量、岩性）等多方面影响，碎石封层设计长期都是以经验为主，通过试验路验证设计可行性。据调查美国碎石封层设计约 63% 采用经验法（或没有正式的设计方法），加拿大碎石封层设计约 55% 采用经验法（或没有正式的设计方法）。碎石封层设计可采用以经验法为主，计算法辅助设计，提高设计的可行性和准确度。

5.1.6 根据 5.1.5 确定的改性乳化沥青及集料用量，宜进行碎石封层板冲击试验和碎石封层初期成型扫刷试验，分别确定其碎石脱落率和初期成型扫刷损失率，其技术要求应满足表 5.1.6 的要求。

表 5.1.6 碎石封层性能技术要求

试验项目	单位	规格 (mm)	技术要求	试验方法
碎石脱落率	%	2.36~4.75	≤ 10	附录 B
		4.75~9.5	≤ 10	
		9.5~13.2	≤ 20	
初期成型扫刷损失率	%	2.36~4.75	≤ 10	附录 C
		4.75~9.5	≤ 10	
		9.5~13.2	≤ 10	

条文说明

碎石封层板冲击试验是测定试件受冲击后被振落碎石数量与碎石总数量的比值，评价集料与结合料的黏附性，碎石封层板冲击试验参照法国 BS EN12272-3 的试验方法。碎石封层初期成型扫刷试验是测定养生初期成型阶段乳化沥青碎石封层的抗扫刷能力，评价乳化沥青碎石封层初期成型效果，初期成型扫刷试验参照美国 ASTM D7000 的试验方法。两个试验评价结果可用于指导碎石封层的设计和施工，但由于我国的相关研究工作和使用经验不足，暂时将碎石脱落率和初

期成型扫刷损失率作为参考性指标使用。针对交通量大、公路等级高、工程量大、质量要求严格的碎石封层项目,在条件允许情况下尽可能进行碎石封层板冲击试验和碎石封层初期成型扫刷试验,以验证碎石封层性能。

5.2 碎石封层选择及推荐用量范围

5.2.1 一级和二级公路碎石封层用乳化沥青宜选用改性乳化沥青,三级和四级公路根据交通量等实际情况,碎石封层用乳化沥青可选用改性乳化沥青或普通乳化沥青。

5.2.2 单层式碎石封层材料推荐撒(洒)布量应符合表 5.2.2-1 的规定。

表 5.2.2-1 单层式碎石封层材料推荐用量

集料规格 (mm)	集料用量 (kg/m ²)	乳化沥青结合料用量 ^a (kg/m ²)
2.36~4.75	6~9	1.2~1.5
4.75~9.5	10~15	1.4~2.0
9.5~13.2	18~24	1.7~2.3

注:^a乳化沥青的蒸发残留物含量为 65%,其他蒸发残留物含量可根据纯沥青进行换算。

条文说明

碎石封层用于养护工程上封层(表面磨耗层)时沥青结合料推荐使用乳化沥青,在特殊情况下使用热沥青(SBS 改性沥青和橡胶沥青),其沥青结合料用量可参考表 5.2.2-2。

表 5.2.2-2 单层式热沥青碎石封层材料推荐规格及用量

集料规格 (mm)	集料用量 (kg/m ²)	结合料用量 (kg/m ²)	
		SBS 改性沥青	橡胶沥青
2.36~4.75	6~9	1.0~1.3	1.1~1.4
4.75~9.5	10~15	1.2~1.6	1.6~2.0
9.5~13.2	18~24	1.5~2.0	2.0~2.5

5.2.3 双层碎石封层设计应符合以下规定:

1 下承层病害修补较多,交通量较大、重型车较多的路段,碎石封层下层集料规格宜采用 16~19mm;中等或小交通量、重型车少的路段,碎石封层下层集料规格宜采用 9.5~13.2mm。

2 双层碎石封层上下层应按单层结构分别设计,下层结构单粒径碎石的粒径与上层结构单粒径碎石的粒径比值宜为 2.0~3.0。

3 下层集料撒布量宜为上层集料预留 25%~35%的嵌缝空间。

条文说明

双层碎石封层中的下层碎石封层选用集料粒径相对较大,成型后表面构造深度较大,而上层碎石粒径相对较小,部分嵌挤在下层间隙中,并形成最终的路面。上层沥青用量应严格控制,过多的沥青用量会使路面在行车过程中产生泛油,沥青用量过少时,集料未被沥青裹附,集料松散在路面上,给行车带来危险。上层集料用量也应进行严格控制,集料过多容易脱落,不仅浪费资源,也给多余集料吸扫工作带来困难,集料用量过少,上层易油膜外漏,出现粘轮及泛油现象,使构造深度降低,路面抗滑性不足。只有上下层沥青与集料用量合理互补时,才能发挥双层碎石封层的优势。

5.2.4 纤维碎石封层设计应符合以下规定:

1 纤维碎石封层应采用改性乳化沥青,改性乳化沥青应符合表 4.1.2 的技术要求。

2 纤维碎石封层用纤维应具有高抗拉性能和高弹性模量,其类型可采用玻璃纤维、聚酯纤维、矿物纤维等。

3 纤维碎石封层的碎石用量、改性乳化沥青用量和纤维用量应根据原路面的表面情况、交通量、施工经验、施工季节等,结合碎石封层集料规格确定。

条文说明

在相同条件下,纤维碎石封层改性乳化沥青用量相比于碎石封层乳化沥青用量一般多 $0.1\sim0.3\text{kg/m}^2$,纤维碎石封层碎石和改性乳化沥青具体用量可参考本规程 5.2.2 有关要求。

5.3 碎石封层集料用量设计

5.3.1 碎石封层的集料用量设计宜采用经验法，具体方法如下：

1 使用直径为 280mm 的圆孔塑料板（如图 5.3.1-1），在其中满铺（单层）预设规格的集料，称量集料质量（ M_F ）；

2 按照公式 5.3.1 计算集料用量（ M_D ）。

$$M_D = \frac{M_F}{A} \times K \quad (5.3.1)$$

式中： M_D —碎石封层集料用量（ kg/m^2 ）；

M_F —预设规格满铺集料质量（ kg ）；

A —正方形塑料板圆孔面积（ 0.0615m^2 ）。

K —撒布量系数，撒布系数取值符合表 5.3.1 的规定。

表 5.3.1 集料撒布量撒布系数

集料规格（mm）	撒布系数 ^a （ K ）
2.36~4.75	1~1.05
4.75~9.5	1~1.07
9.5~13.2	1~1.1

注：^a撒布系数与集料的施工精度和集料撒布均匀程度有关，当施工过程中集料撒布非常均匀、且无集料损失则撒布系数为 1，当集料撒布均匀有困难，集料有损失，则取较大数值。

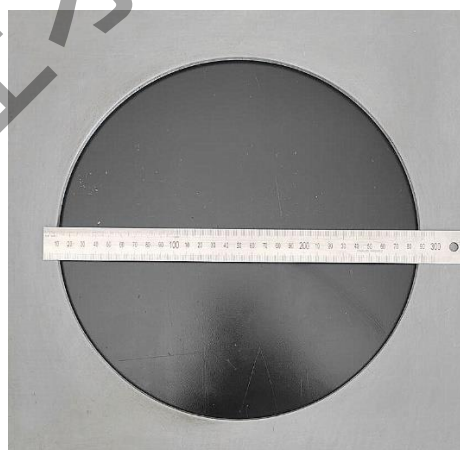


图 5.3.1-1 圆孔塑料板

条文说明

碎石封层集料的满铺是在圆孔塑料板内单层最大撒布预设规格集料，并保证集料表面平整。具体是在圆孔塑料板下铺白纸，然后在圆孔范围内撒布预设规格

集料，集料尽可能覆盖下层白纸，从水平观察集料为单层且表面平整，不同规格集料满铺效果俯视及平视图如图 5.3.1-2 和 5.3.1-3 所示。

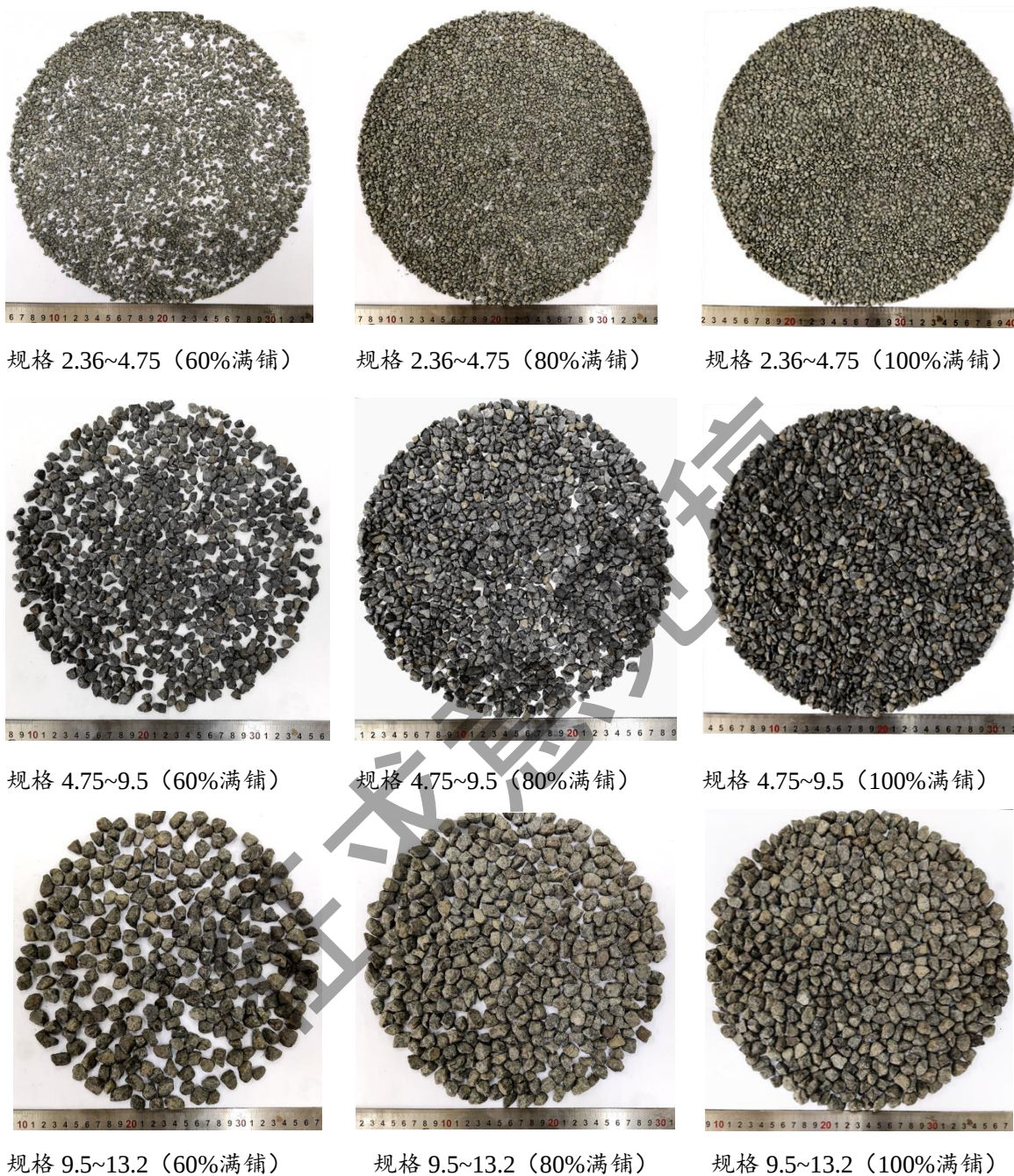


图 5.3.1-2 不同规格集料满铺示意图（俯视）

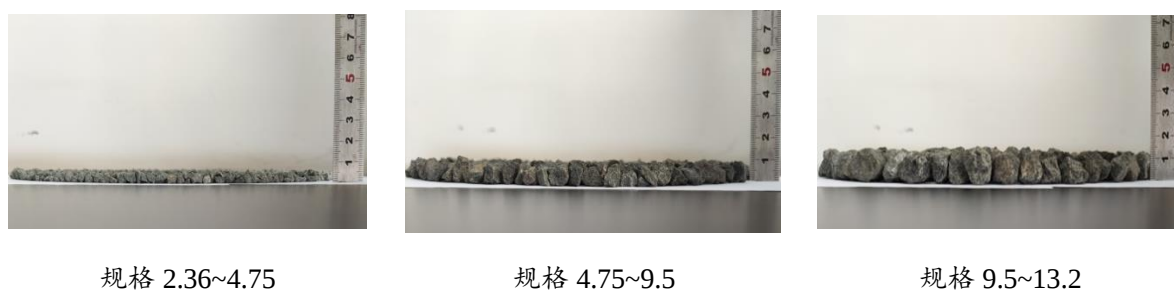


图 5.3.1-3 不同规格集料满铺示意图（平视）

5.3.2 当经验不足时，可采用计算法辅助确定碎石封层集料用量，具体计算方法如下：

1 按照《公路工程集料试验规程》（JTG E42）相关试验方法测试集料级配、松装空隙率、针片状颗粒含量、毛体积密度和吸水率。

2 按照附录 D 方法计算集料中值粒径。

3 按照式（5.3.2-1）计算设计平均最小层厚：

$$ALD = \frac{M}{1.1393 + 0.0115 \times FI} \quad (5.3.2-1)$$

式中：ALD—设计平均最小层厚（mm）；

M—集料中值粒径（mm）；

FI—集料针片状颗粒含量（%）。

4 按照式（5.3.2-2）计算集料松装空隙率：

$$V = 1 - \frac{\rho}{100\rho_b} \quad (5.3.2-2)$$

式中：V—集料松装空隙率；

ρ —集料松装堆积密度（g/cm³）；

ρ_b —集料毛体积密度（g/cm³）。

5 按照式（5.3.2-3）计算集料用量：

$$C = (1 - 0.4V) \times ALD \times G \times E \quad (5.3.2-3)$$

式中：C—集料用量（kg/m²）；

V—集料松装空隙率；

ALD—设计平均最小层厚（mm）；

G—集料毛体积密度（g/cm³）；

E—集料损失率，宜为 1.05~1.10。

5.3.3 碎石封层的集料用量应在表 5.2.2-1 推荐范围内。

5.4 碎石封层乳化沥青用量设计

5.4.1 碎石封层乳化沥青用量设计宜采用经验法，根据气候环境、交通量、路面状况、集料吸附等因素，在表 5.2.2-1 推荐范围内确定碎石封层乳化沥青用量。

5.4.2 当 5.4.1 确定碎石封层乳化沥青用量经验不足时,可采用计算法辅助确定碎石封层乳化沥青用量。具体计算步骤如下:

1 按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20)规定的试验方法,测试沥青的密度、乳化沥青的蒸发残留物含量。

2 乳化沥青用量按照式 (5.4.2-1) 计算:

$$B_e = (0.4 \times ALD \times V \times T + S + A) \times \rho \times \frac{W}{0.01R} \quad (5.4.2-1)$$

式中: B_e — 乳化沥青用量 (kg/m^2);

ALD —设计平均最小层厚 (mm);

V —集料松装空隙率;

T —交通量修正系数,按照表 5.4.2-1 取值;

S —路面状况修正系数,按照表 5.4.2-2 取值;

A —集料吸收系数,宜为 1%~2%;

ρ —沥青密度 (g/cm^3);

W —乳化沥青洒布修正系数,按照表 5.4.2-3 取值;

R —乳化沥青蒸发残留物含量 (%)。

表 5.4.2-1 交通量修正系数

交通量 (AADT)	<2000	2000~5000	5000~10000	>10000
修正系数	0.91~0.98	0.86~0.90	0.81~0.85	0.75~0.80

表 5.4.2-2 路面状况修正系数

路面状况	修正系数
黑色, 泛油	-0.04~-0.30
平整, 无坑槽	0
轻微渗水, 轻微氧化	0.10~0.15
中度麻面、渗水、老化	0.20~0.30
严重麻面、渗水、老化	0.35~0.45

表 5.4.2-3 乳化沥青洒布量修正系数

交通量 (AADT)	<2000	2000~5000	5000~10000	>10000
修正系数	0.96~0.98	0.91~0.95	0.86~0.90	0.80~0.85

5.4.3 当碎石封层沥青结合料使用改性乳化沥青时，宜通过试验进一步优化碎石封层改性乳化沥青的设计用量。具体试验验证方法如下：

1 以 5.4.1 或 5.4.2 中确定碎石封层改性乳化沥青用量作为初试用量，按照附录 B 和附录 C 的方法，以该初试用量、初试用量 $\pm 0.1\text{kg/m}^2$ 这 3 个用量制备试件，然后分别进行碎石封层板冲击试验和碎石封层初期成型扫刷试验。

2 若 3 个改性乳化沥青用量的试验结果均满足表 5.1.6 的要求，则以初试用量为碎石封层改性乳化沥青用量；

3 若仅初试用量、初试用量 $+0.1\text{kg/m}^2$ 的试验结果满足要求，则以初试用量 $+0.1\text{kg/m}^2$ 为碎石封层改性乳化沥青用量；

4 上述两条均不符合时，则调整初试沥青用量重新进行试验。

6 碎石封层施工

6.1 一般规定

6.1.1 碎石封层施工前应按照设计要求做好原路面病害处治，处治方法按照《公路沥青路面养护技术规范》（JTG 5124）相关要求进行。

6.1.2 碎石封层施工前应对原路面进行清扫，保证原路面整洁、无杂物、无污染、无积水。

6.1.3 碎石封层不得在雨天施工，施工现场环境温度不得低于 10℃。

6.2 施工准备

6.2.1 施工机具应符合下列要求：

1 异步碎石封层应配备乳化沥青洒布车、碎石撒布车、胶轮压路机、路面吸扫车、强力吹风机等施工机具。

2 同步碎石封层应配备同步碎石封层车、胶轮压路机、路面吸扫车、强力吹风机等施工机具。

6.2.2 施工前各类施工机具应运转正常。沥青喷洒管高度应适宜，喷嘴与喷洒管夹角应调整至适宜位置，喷嘴应无堵塞，喷洒压力正常，洒布时同一点宜有 2 个或 3 个喷油嘴能同时覆盖。

6.2.3 施工前应对沥青和碎石撒（洒）布计量系统进行标定。

6.2.4 施工前材料准备应符合下列要求：

1 乳化沥青应均匀、稳定，无结块或沉淀、离析现象。

2 集料应洁净干燥或完成预裹附处理。

6.2.5 道路人工构造物、路缘石等外露部分应作防污染遮盖。

6.2.6 施工前应做好交通组织、安全施工等准备工作。

6.3 试验段铺设

6.3.1 碎石封层正式施工前应选择合适的路段铺设试验段，试验段长度宜不小于200m。通过试验段应确定下列内容：

- 1 检验施工、试验人员配置及施工组织方案。
- 2 验证并优化设计乳化沥青洒布量及碎石撒布量。
- 3 确定同步碎石封层车（乳化沥青洒布车和碎石撒布车）的行进速度、沥青喷嘴高度与角度等参数。
- 4 确定轮胎压路机的碾压遍数及碾压速度。
- 5 确定每个作业面合适的宽度、长度及厚度。
- 6 确定纵缝和横缝处理方法。
- 7 检验碎石封层施工效率及各种辅助施工机具是否匹配。

6.4 碎石封层施工工艺

6.4.1 碎石封层施工前应施划导线，以保证洒（撒）布车顺直行驶，有路缘石、车道线等作为参照的，可不施划导线。

6.4.2 在直线和不设超高的平曲线段，洒（撒）布车应首先沿着路幅外侧开始然后逐渐向路幅内侧施工；设有超高平曲线段，洒（撒）布车应先沿路幅内侧开始，逐渐向路幅外侧施工。

6.4.3 碎石封层应按照设计的乳化沥青用量与集料用量进行连续施工，可采用同步碎石封层车施工，也可采用乳化沥青洒布车和碎石撒布车配合的异步法施工。

6.4.4 同步碎石封层施工时，应注意观察乳化沥青和碎石撒（洒）布的匹配性和均匀性，如发现乳化沥青存在条纹状洒布或者泄漏，碎石撒布过多或过少的情

况，应立即停止撒（洒）布，查找分析问题并解决。

6.4.5 异步碎石封层施工时，洒布乳化沥青后及时撒布碎石。碎石撒布应均匀，厚度一致，不应露出结合料，局部缺料或料过多处，应人工适当找补或清除。

6.4.6 乳化沥青可进行常温洒布，其最高洒布温度不宜超过 70℃。

6.4.7 洒（撒）布过程中，同步碎石封层车（乳化沥青洒布车和碎石撒布车）应保持平稳、均速行驶，碎石封层洒（撒）布车作业速度宜为 3~5km/h，乳化沥青洒布量偏差不宜超过设计值 $\pm 0.2\text{kg/m}^2$ ，碎石撒布量偏差不宜超过设计值 $\pm 0.5\text{kg/m}^2$ 。

6.4.8 对于纵向接缝，宜在先做碎石封层一侧暂留 10~15cm 宽度洒布乳化沥青不撒碎石，待另一侧进行碎石封层施工时，沿上一侧碎石封层边缘撒布碎石，避免纵向接缝处出现缺料和泛油的现象。

6.4.9 对于横向接缝，宜在起点和终点位置预铺宽度不小于 2m 油毛毡或铁皮（板），保证边缘整齐，避免出现重复洒（撒）布乳化沥青和碎石的现象。

6.4.10 碎石撒布完成后宜采用不小于 16t 胶轮压路机碾压 2~4 遍，碾压时不得在碎石封层上随意刹车和掉头，碾压速度不宜超过 3km/h，轮迹重叠不小于 1/3 轮宽，碎石封层宜在乳化沥青破乳前进行碾压。

6.4.11 碎石封层碾压成型后应及时清除表面多余的浮动碎石，泛油处应及时均匀补撒碎石。

6.4.12 对于双层式乳化沥青碎石封层按照以上要求完成第一层碾压之后，待 24h 后进行第二层碎石封层施工，上下两层之间的接缝应错开 30cm 以上。

6.4.13 乳化沥青碎石封层应留出足够养生时间，待充分破乳、水分蒸发且基本成型后再开放交通。

条文说明

碎石封层用于养护工程中，其沥青结合料多为乳化沥青，因此施工部分突出乳化沥青碎石封层，在特殊情况使用热沥青为结合料的碎石封层，施工过程中下述内容可供参考。热沥青碎石封层应采用同步法施工；施工过程中应对沥青结合料温度进行严格控制，采用的沥青洒布温度应根据黏温曲线确定，不具备条件时可参照现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 各类沥青的拌合温度；对于热沥青碎石封层，宜在作业面洒(撒)布完成后立即进行碾压，并在碾压结束后即可开放交通；热沥青碎石封层施工前准备及试验段铺筑可参考乳化沥青碎石封层相关内容。

6.4.14 碎石封层在开放交通初期的 12h 宜设专人指挥交通或设置限速设施控制车速，车速宜不超过 20km/h。在开放交通初期的 24h 内，车速宜不超过 40km/h。

6.4.15 纤维碎石封层施工宜选用专用的施工设备。纤维碎石封层的洒(撒)布、碾压、养生等工序应符合本规程 6.4.1~6.4.14 的相关规定。

条文说明

纤维碎石封层采用专用的纤维碎石封层设备同步喷洒上下两层乳化沥青和纤维层(中间层)及碎石层，纤维碎石封层施工前准备及试验段铺筑可参考乳化沥青碎石封层相关内容。

7 质量控制与验收

7.1 材料与设备检查

7.1.1 施工前应提供原材料的检测报告、碎石封层设计报告，必要时提供设计复核报告。

7.1.2 施工前应提供撒（洒）布车标定报告，并对施工辅助车辆、器具配套情况及性能等进行检查，保证设备与车辆处于良好状态。

7.1.3 施工前材料的质量检查应以同一料源、同一批并运至生产现场的相同规格品种乳化沥青、纤维、集料等为一“批”进行检查，检查频率和要求如表 7.1.3 所示。

表 7.1.3 材料质量检查与要求

材料	检查项目	技术要求	检验频率
乳化沥青	表 4.1.2 要求的检测项目	符合设计要求	每批来料 1 次
纤维	设计要求的检测项目		
集料	表 4.2.2-1 要求的检测项目		每个工作日一次
	含水率		

7.2 施工过程的质量控制

7.2.1 施工过程中原材料检查项目、频率和技术要求应符合表 7.2.1。

表 7.2.1 施工过程中原材料质量检查频率与技术要求

材料	检查项目	检验频率	技术要求	试验方法
普通乳化沥青	蒸发残留物含量	每 7 个工作日 1 次 ^a	符合设计要求	T0651
	蒸发残留物针入度	每 7 个工作日 1 次		T0604
	蒸发残留物软化点	每 7 个工作日 1 次		T0606
改性乳化沥青	蒸发残留物含量	每 7 个工作日 1 次	符合设计要求	T0651

	蒸发残留物针入度	每 7 个工作日 1 次		T0604
	蒸发残留物软化点	每 7 个工作日 1 次		T0606
	蒸发残留物延度	必要时 ^b		T0605
集料	外观 ^c	随时 ^d	干燥、洁净，无杂质、无风化、表面粗糙	目测
	含水率	每个工作日 1 次	符合设计要求	T0305
	针片状含量	随时		T0312
	颗粒组成（筛分）	随时		T0302
	压碎值	必要时		T0316
	磨光值	必要时		T0321
	洛杉矶磨耗值	必要时		T0317

注：^a 不足 7 天仍需检测一次。

^b “必要时”为出现特殊情况或存在质量怀疑时，提出检查要求。

^c “外观”包括集料的品种、洁净程度、含泥量情况等。

^d “随时”为经常检查的项目，检查频次可根据施工情况确定。

7.2.2 施工中应对碎石封层进行抽样检查，抽检项目、频率、要求及检验方法应符合表 7.2.2。

表 7.2.2 碎石封层施工过程控制要求

项目		检验频率	要求	检验方法
外观		全线连续	表面平整、嵌挤密实，乳化沥青、碎石撒（洒）布均匀，乳化沥青无漏洒，纵横缝整齐	目测
乳化沥青洒布量（kg/m ² ）		1 次/3000m ²	设计值±0.2	T0982、总量检验法
集料撒布量（kg/m ² ）		1 次/3000m ²	设计值±0.5	T0982、总量检验法
纤维撒布量（g/m ² ） ^a		1 次/3000m ²	设计值±5	总量检验法
宽度（mm）	有侧石	1 处/200m	±30	钢卷尺
	无侧石		不小于设计值	

注：^a 纤维碎石封层检测项目。

7.3 交工验收阶段的质量检查与验收

7.3.1 工程完工后，以 1~3km 作为一个评价路段对施工全线进行质量检查和

验收，检查项目、频率、要求及方法应符合表 7.3.1 的规定。

表 7.3.1 碎石封层验收检验要求

项目	单位	检验频率	质量要求	检测方法
外观	—	全线	表面平整、嵌挤密实，乳化沥青、碎石撒（洒）布均匀，乳化沥青无漏洒，纵横缝整齐	目测
构造深度	mm	1 处/200m	≥ 0.55	铺砂法，T0961 或 T0962
摆值 F_b	BPN	1 处/200m	≥ 45	摆式仪，T0964
平整度	mm	1 处/200m	≤ 5	T 0931 或 T0934
宽度	—	1 处/200m	$\geq$ 设计宽度	钢卷尺法

附录 A 破乳性能试验

A.1 适用范围

本方法适用于通过化学破乳的方法，评价阴/阳离子乳化沥青的破乳性能。

A.2 仪器与材料技术要求

- 1 金属网筛孔为方形，孔径为1.4mm，金属网尺寸不小于125mm×125mm。
- 2 烧杯，容量为600ml的金属烧杯。
- 3 搅拌棒，直径约为 10mm 的金属棒。
- 4 玻璃滴定管，50ml 的滴定管，刻度间隔为 0.1ml。
- 5 滴定试剂

1) 氯化钙溶液（1.11g/L），将 1.11g 的无水氯化钙（ CaCl_2 ）溶解到蒸馏水中，加水使得氯化钙溶液的体积达到 1L，制备完成的氯化钙溶液应在密封容器内保存。该滴定试剂用于快裂型阴离子乳化沥青测试。

2) 氯化钙溶液（5.55g/L），将 5.55g 的无水氯化钙（ CaCl_2 ）溶解到蒸馏水中，加水使得氯化钙溶液的体积达到 1L，制备完成的氯化钙溶液应在密封容器内保存。该滴定试剂用于中裂型或拌合型阴离子乳化沥青测试。

3) 丁二酸二辛酯磺酸钠溶液（0.8%），8.00g 的丁二酸二辛酯磺酸钠，溶解至 992g 的蒸馏水中，溶液制备完成后应装入密封容器并放置在阴凉避光处，当配置溶液超过 90 天应予以废弃。该滴定试剂用于快裂型阳离子乳化沥青测试。

6 天平，称重 2000g，感量不大于 0.1g。

7 烘箱，温度范围满足室温~185℃，精度不低于 1℃。

A.3 方法与步骤

- 1 依据 T0651 试验方法，测定待测乳化沥青的蒸发残留物含量 c （%）。
- 2 烧杯、搅拌棒、金属网总体称重，并记录质量 m_1 。
- 3 在烧杯中称取 $100\text{g} \pm 0.1\text{g}$ 的待测乳化沥青，并将乳化沥青和选用的试剂放置在 $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 保温 3h。
- 4 将合适的试剂在 2min 内滴加到烧杯中，滴定试剂包括三种，适用范围见 A.2。
 - 1) 35mL 的 CaCl_2 溶液（1.11g/L）
 - 2) 50mL 的 CaCl_2 溶液（5.55g/L）

3) 35mL 的丁二酸二辛酯磺酸钠溶液 (0.8%)

5 滴加试剂时持续搅拌, 并使用搅拌棒插捣烧杯中已形成的结块, 保证滴定试剂与乳化沥青充分接触。

6 在试剂全部滴定完成后, 继续插捣结块 2min。

7 缓慢地将烧杯中的混合物倒入加有金属网的废液杯中, 用蒸馏水冲洗烧杯、搅拌棒, 并将冲洗后的液体倒入加有金属网的废液杯中。使用搅拌棒插捣金属网上的结块, 并持续用蒸馏水冲洗, 直至冲洗的水清亮无杂质为止。

8 将金属网、乳化沥青残留物结块及搅拌棒一起放入到烧杯中, 并将烧杯放入到 $163^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中 1h, 然后冷却称重, 重复加热称重直到前后两次的质量差值不大于 0.1g, 并记录最终的质量 m_2 。

A.4 计算

乳化沥青的破乳率按式 (A-1) 计算:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{c \times 100} \quad (\text{A-1})$$

式中: D-破乳率 (%);

m_1 -烧杯、搅拌棒及金属网的总质量 (g);

m_2 -烘干后的乳化残留物及烧杯、搅拌棒、金属网的总质量 (g);

c-乳化沥青的蒸发残留物质量 (%)。

A.5 报告

A.5.1 一组试样个数不少于 3 个。当一组测定值中某个测定值和平均值差大于标准差的 k 倍时, 该测定值予以舍弃, 并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试样数目为 3、4、5、6 个时, k 值分别是 1.15、1.46、1.67、1.82。

A.5.2 试验报告包括以下内容:

- 1 乳化沥青的电荷及使用的滴定试剂;
- 2 乳化沥青的破乳率。

附录 B 碎石封层板冲击试验

B.1 适用范围

本方法在规定条件下试件受钢球冲击后被振落碎石数量与碎石总数量的比值，评定碎石与沥青结合料的黏附性，以百分率表示。

B.2 仪器与材料技术要求

1 钢板：边长 $(200 \pm 1) \text{ mm} \times (200 \pm 1) \text{ mm}$ ，厚度 $2.5 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ ，四周边缘高 $8 \pm 1 \text{ mm}$ ，钢板的尺寸精度应不低于 0.2 mm ，当使用后的尺寸精度低于 0.5 mm 时，应更换。

2 支架：支架包括 V 型溜槽（水平夹角 $3^\circ \pm 0.5^\circ$ ）、移动挡板、底座、水平仪等构件，如图 B.3 所示。

3 钢球：质量 $510 \text{ g} \pm 10 \text{ g}$ 。

4 压实器：金属板宽度 $300 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$ ，曲线边长 $500 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$ ，曲面半径 $500 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ ，其重量（含配重） $25 \text{ kg} \pm 0.5 \text{ kg}$ ，金属板碾压接触面设 $10 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ 橡胶层，橡胶硬度 $40 \sim 100 \text{ HA}$ 。

5 低温箱：温度范围满足 $-20 \sim 10^\circ \text{C}$ ，精度不低于 0.5°C 。

6 热烘箱：温度范围满足室温 $\sim 220^\circ \text{C}$ ，精度不低于 1°C 。

7 天平：称量范围 $0 \sim 2000 \text{ g}$ ，精度不低于 0.1 g 。

B.3 方法与步骤

B.3.1 准备工作

1 调整 V 型溜槽挡板位置，应使钢球自 V 型溜槽落下恰好跌落在钢板的正中间，此位置调整好后固定。

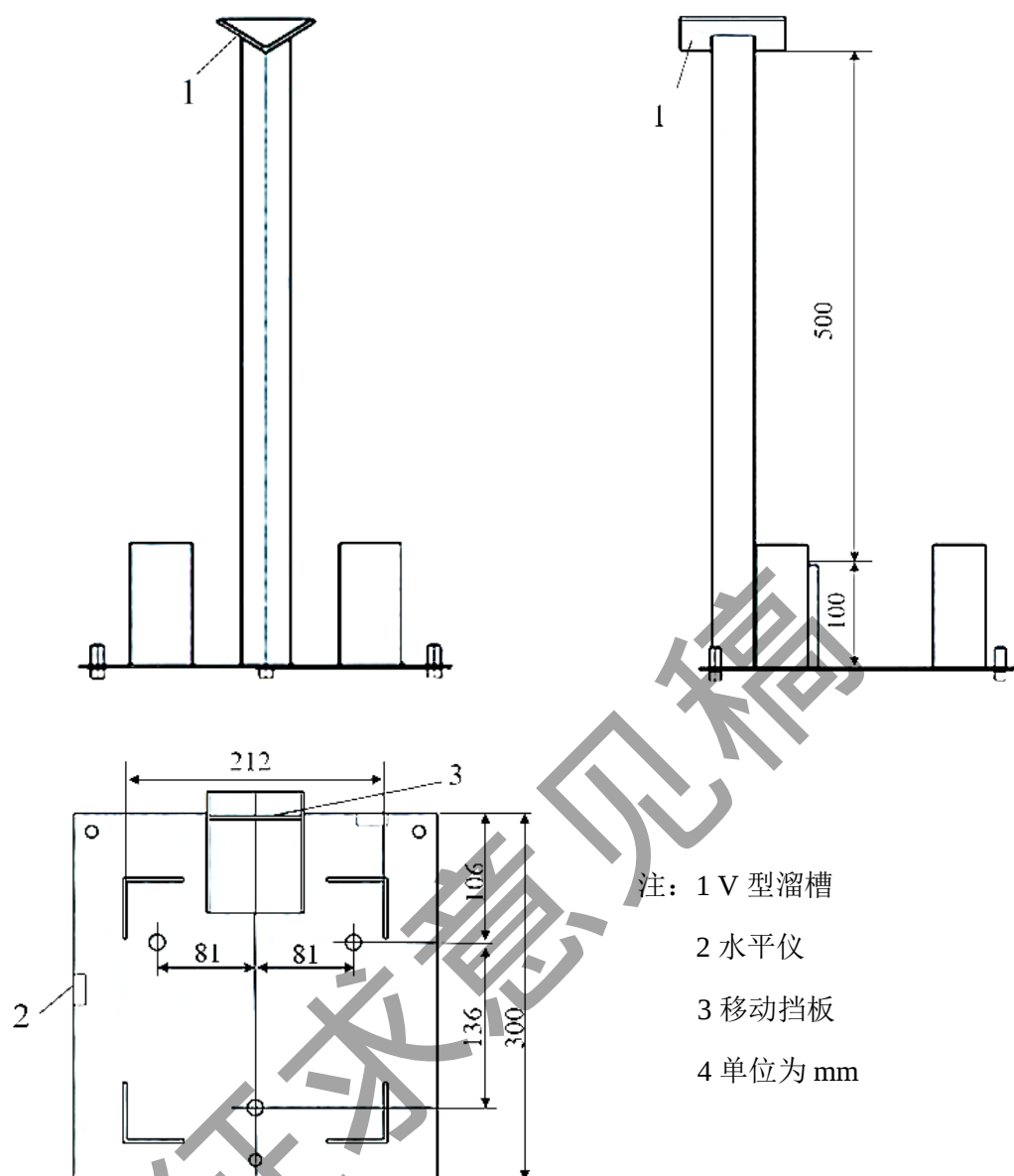


图 B.3 碎石封层板冲击试验支架

2 从工程所用的碎石挑选出接近立方体的形状规则的碎石，并将碎石置于 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干 2h，并冷却至常温后备用。碎石数量按照如下准备：碎石规格(2.36~4.75mm、4.75~9.5mm)，准备 100 颗碎石；碎石规格(9.5~13.2mm)，准备 50 颗碎石。

3 当使用热沥青作为结合料时, 将钢板放置在 $180^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 温度烘箱中保温 2h, 若使用乳化沥青作为结合料, 将钢板放置在 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 温度烘箱中保温 2h。

4 将热沥青加热到碎石封层设计的温度，然后取出钢板，放在平台上，立即向钢板中浇灌热沥青，此时应注意钢板不得倾斜，以防沥青流向一边。如沥青流动性不足，可使用铁铲（加热）辅助沥青流平。沥青用量为碎石封层沥青结合料

设计用量，如缺少沥青结合料设计用量，可按照如下准备：

碎石规格（2.36~4.75mm），沥青用量为 0.8kg/m^2 ；

碎石规格（4.75~9.5mm），沥青用量为 1.0kg/m^2 ；

碎石规格（9.5~13.2mm），沥青用量为 1.4kg/m^2 。

5 将灌有沥青的钢板冷却至室温，均匀摆放碎石，碎石与碎石之间的间距应大体均匀，距离边缘不得小于 10mm 。将钢板连同碎石一起放入到 60°C 烘箱中加热 2h ，取出试件后立即用压实器进行压实，在一个方向碾压 3 次，在垂直方向上再碾压 3 次。压实过程不得施加任何额外向下的力。

6 如结合料使用乳化沥青，将乳化沥青密封保温至 25°C ，取出钢板放在平台上，将计量准确的乳化沥青灌入钢板，再将碎石均匀的摆放在钢板上，碎石与碎石之间的间距应大体均匀，距离边缘不应小于 10mm ，将钢板和碎石一起放入到 60°C 烘箱 $24\text{h} \pm 1\text{h}$ 。乳化沥青用量须根据残留物含量换算。

7 将成型好的试件，放置在 0°C 的低温箱保温 3h 。

B.3.2 试验步骤

1 从低温箱取出钢板，放置在图 B.3 三点支撑上，将钢板粘有碎石的一面朝下，未粘碎石的面朝上，将钢球置于 V 型溜槽，用手指轻轻碰触钢球，使钢球从 V 型溜槽自由落下，并恰好落在钢板反面中心位置，在 10s 内连续冲击三次平板。

2 完成三次冲击后，观察钢板受钢球冲击振动后碎石被振落的情况：

a—振落碎石颗粒数量；

b—黏附在钢板上的碎石颗粒数量。

B.4 计算

碎石脱落率按照式（B-1）计算。

$$R = \frac{a}{T} \times 100\% \quad (\text{B-1})$$

式中：R—碎石脱落率（%）；

a—振落碎石颗粒数量；

T—碎石颗粒总数（T 取 100 或 50）。

B.5 报告

B.5.1 同一试验平行进行三次。三次测定值与中值之差均不超过 5%，则取

平均值作为碎石脱落率；如存在一个测定值与中值之差超过 5%，则以中值为碎石脱落率；如果存在两个测定值与中值之差超过 5%，则重新进行试验。

B.5.2 试验报告包括下列内容：

- 1 使用碎石封层集料粒径及结合料种类；
- 2 试件的碎石脱落率。

征求意见稿

附录 C 碎石封层初期成型扫刷试验

C.1 适用范围

本方法适用于在试验室检验养生初期成型阶段乳化沥青碎石封层的抗扫刷能力，评价乳化沥青碎石封层初期成型效果。

C.2 仪具与材料技术要求

1 扫刷仪

1) 扫刷头：扫刷头总重（含尼龙刷子，不含套筒） $1650\text{g}\pm 15\text{g}$ ，其固定装置可在轴套内垂直 $16\text{mm}\pm 4\text{mm}$ 范围内自由活动，如图 C-1。磨耗头的转速为自传 $140\text{r}/\text{min}\pm 2\text{r}/\text{min}$ ，公转为 $61\text{r}/\text{min}\pm 1\text{r}/\text{min}$ 。

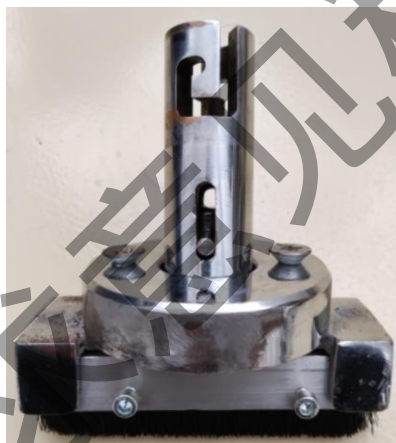


图 C-1 碎石封层扫刷试验扫刷头

2) 尼龙刷：尼龙刷长 $12.5\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ ，宽度 $5\text{mm}\pm 1\text{mm}$ （刷毛压紧处），刷毛长度 $150\text{mm}\pm 2\text{mm}$ ，尼龙刷毛直径 $0.25\text{mm}\pm 0.05\text{mm}$ ，尼龙刷子质量 $35\text{g}\pm 2\text{g}$ 。

3) 试样托盘：试样托盘为平底金属圆盘，内径不小于 320mm ，深度 $50\text{mm}\pm 5\text{mm}$ 。试样托盘可方便取下，并依靠夹具与升降平台固定。

2 模板：边长为 $360\text{mm}\pm 10\text{mm}$ 的正方形不锈钢板，中间有以正方形中心为圆点开直径为 $280\text{mm}\pm 2\text{mm}$ 圆孔，试模厚度为 $1.5\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ 。

3 天平：称量范围 $0\sim 2000\text{g}$ ，精度不低于 0.1g 。

4 热烘箱：具有强制通风功能，其内部尺寸不低于 $460\times 460\times 460\text{mm}$ ，温度范围室温 $\sim 220^{\circ}\text{C}$ ，精度不低于 1°C 。

- 5 恒温恒湿箱：温度范围 15~60℃，湿度范围 25~80%。
- 6 刮杆：长度为 450mm±50mm 表面光滑的圆柱金属杆，其直径为 17~20mm。
- 7 压实器具：金属板宽度 300mm±20mm，曲线边长 500mm±20mm，曲面半径 500mm±10mm，其重量 7500g±50g，如图 C-2 所示。



图 C-2 碎石封层压实器具

C.3 方法与步骤

C.3.1 准备工作

- 1 将乳化沥青放置于烘箱密封保温至 25℃。
- 2 选取实际工程使用集料，将集料放置 105℃±5℃烘箱内 2h，并将加热后的集料冷却至室温备用。
- 3 试件制备使用的油毛毡不得有破损、裂纹、凸起、凹痕、褶皱等问题，油毛毡应该被剪裁成直径为 300mm±10mm 的圆片，剪裁好的圆片应放置在 50℃烘箱 24~48h 使其平整，加热后的油毛毡圆片使用重物压平并放置室温环境 2 天。
- 4 将扫刷头安装到扫刷仪上，测定扫刷作用面积圆的直径 Dmm，精确到 1mm。

C.3.2 试样制备

- 1 取油毛毡圆片称重，并记录质量 m_1 （精确到 0.1g），并将油毛毡圆片放在稳定的平台上，如果油毛毡圆片有破损和褶皱等问题，应及时更换，将模板中心对称的放在油毛毡圆片上，向模板中倒入设计用量的乳化沥青，并用刮杆刮平，然后将预先称取设计用量的碎石均匀撒布在乳化沥青上并移除模具。如无法确定沥青结合料和集料的设计用量，则取本规程表 5.2.2-1 中碎石封层材料推荐用量范围中值进行试验。
- 2 及时用压实器具对试样压实，在一个方向碾压 3 次，在垂直方向上再碾压 3 次，压实过程不得施加任何额外向下的力，然后将试样放入恒温恒湿箱中养生（35℃±2℃，湿度 RH30%±1%），如能够取得实际工程环境湿度及温度参数，可采用

实际湿度及温度参数养生。

3 恒温恒湿箱养生5h后，将试件取出并放置25℃烘箱10min，取出试件用毛刷将松动的碎石扫除，并立即称取试件重量，再将试件放到扫刷仪托盘中扫刷10s，用毛刷扫除松动碎石，并称取试件质量 m_2 （如相比于试件扫刷10s前质量损失超过30%，直接判定不合格），重新将试件放到扫刷仪托盘中（前后试件放置位置相同），碎石扫除过程及称重总时间不应超过5min。

C.3.2 实验步骤

- 1 把装有试件的试样托盘立刻固定在扫刷仪升降平台上，提升平台并锁住，此时尼龙刷接触到试件表面，并确保扫刷头能够自由垂直移动。
- 2 开动扫刷仪，扫刷头转动60s±1s后停止。
- 3 降下平台，将试件从托盘中取出，用扫刷仔细将松动碎石从试件清理干净，避免用力过大。
- 4 称取清理后试件与油毛毡的总质量 m_3 。

C.4 计算

碎石封层初期成型扫刷损失率按式（C-1）计算：

$$ML = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times Q \times 100\% \quad (C-1)$$

式中：ML—初期成型扫刷损失率（%）；

m_1 —油毛毡质量（g）；

m_2 —扫刷前试件质量（g）；

m_3 —扫刷后试件质量（g）；

Q—扫刷面积修正系数，系数选择见表 C-1。

表 C-1 扫刷面积修正系数

扫刷圆直径 D（cm）	19.5	20	20.5	21	21.5	22	22.5
修正系数	2.06	1.96	1.86	1.78	1.69	1.62	1.55

C.5 报告

C.5.1 一组试样个数不少于3个。当一组测定值中某个测定值和平均值差大

于标准差的 k 倍时,该测定值予以舍弃,并以其余测定值的平均值作为试验结果。
当试样数目为3、4、5、6个时, k 值分别是1.15、1.46、1.67、1.82。

C.5.2 试验报告包括下列事项:

- 1 试件养生及扫刷时的环境条件(温度和相对湿度);
- 2 碎石封层乳化沥青与集料使用量;
- 3 碎石封层试件初期成型扫刷损失率。

征求意见稿

附录 D 集料中值粒径测试方法

D.1 适用范围

本方法适用于测定碎石封层集料中值粒径。

D.2集料筛分试验

- 1 按照《公路工程集料试验规程》（JTG E42）中T 0302方法测定集料的颗粒组成。
- 2 碎石封层集料筛分试验方法应采用水筛法。

D.3 集料中值粒径计算方法

- 1 确定集料各筛孔的通过质量百分率并绘制筛分曲线。
- 2 以通过质量百分率为 50%所对应的筛孔尺寸作为集料的中值粒径，精确到 0.1mm。
- 3 同一种集料取两个试样平行试验两次，两次试验集料中值粒径偏差不超过 5%，取两次试验中值粒径平均值作为试验结果，否则需重新进行试验。

条文说明

例如，某集料的筛分结果见表D-1，绘制其筛分曲线见图D-1，该集料的中值粒径为6.2mm。

表 D-1 碎石封层集料筛分结果

筛孔尺寸（mm）	0.075	2.36	4.75	7.2	9.5	13.2
通过质量百分率（%）	0.6	2.7	9.1	80.2	95.9	100

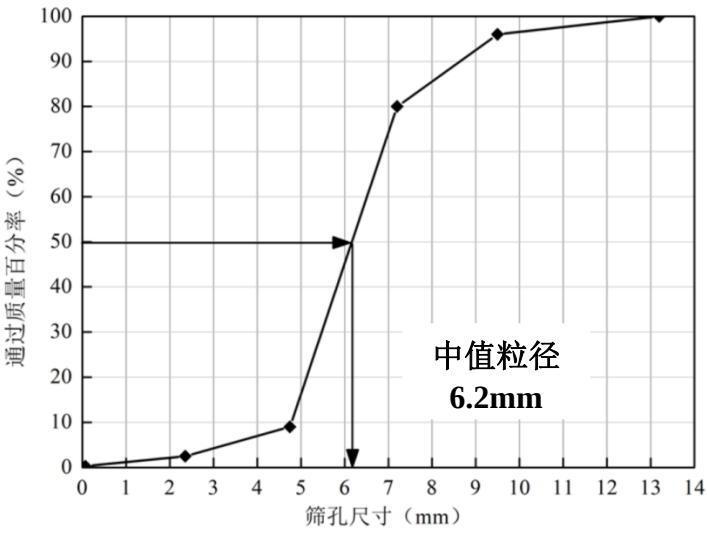


图 D-1 碎石封层集料筛分曲线

附录 E 某省道沥青路面碎石封层组成设计实例

E.1 路况调查

E.1.1 工程概况

某省道（二级公路），年平均日交通量为 4500 辆/日。

E.1.2 路况

E.1.2.1 对整个路段进行现场调查，包括路面车道组成、沥青路面宽度、沥青路面状况、病害类型与程度、病害修补情况等，发现：

- 路面平整，无结构性病害；
- 路面病害主要变现为轻度横向裂缝；
- 路面泛白、轻度麻点、局部渗水。呈现沥青流失、细集料剥落状况；
- 路面除裂缝和局部少量坑槽进行修复，未进行罩面等大面积养护。

E.1.2.2 PCI、RQI、RDI 等级均为优级。

E.1.2 调查结论

该路段结构承载能力满足要求，路面病害主要是由于沥青老化、磨光造成的路面泛白和麻面以及半刚性基层引发的反射裂缝。因此，可采用同步碎石封层对沥青路面进行预防养护。

E.2 材料选择

E.2.1 乳化沥青

考虑到对路面局部渗水的封闭、老化沥青性能恢复以及提高碎石封层性能，采用改性乳化沥青作为沥青结合料。改性乳化沥青性能测试结果见表 E.1。

表 E.1 改性乳化沥青性能测试结果

试验项目		单位	测试结果	技术要求	试验方法
破乳率		%	76.3	≥50	附录 A
粒子电荷		—	正电荷	正电荷	T 0653
筛上剩余量（0.6mm）		%	0.02	≤0.1	T 0652
黏度	赛波特黏度 50℃	s	48.3	40~400	T0623
	恩格拉黏度 E _v 50℃	—	13.1	10~100	T0622

储存稳定性	1d	%	0.3	≤ 1	T0655
	5d	%	0.9	≤ 5	
与粗集料的黏附性，裹附面积		—	完全裹附	$\geq 2/3$	T0654
蒸发残留物含量		%	65.2	≥ 65	T0651
蒸发残留物性质	针入度（25℃，100g，5s）	0.1mm	63.2	50~120	T0604
	软化点	℃	55.9	≥ 52	T0606
	延度（5℃）	cm	54	≥ 40	T0605
	溶解度（三氯乙烯）	%	99.5	≥ 97.5	T0607

E.2.2 集料

集料规格选用 4.75~9.5mm，采用玄武岩破碎成型，其级配和技术性能测试结果见表 E.2 和表 E.3。

表 E.2 玄武岩集料级配筛分结果

筛孔尺寸（mm）	筛孔通过率（%）	
	测试结果	要求范围
13.2	100	100
9.5	98.8	95~100
7.2	58.3	—
4.75	7.9	5~10
2.36	1.8	—
0.075	0.3	0~1

表 E.3 玄武岩集料技术指标测试结果

试验项目	单位	测试结果	技术要求	试验方法
压碎值	%	10.3	≤ 20	T 0316
洛杉矶磨耗损失	%	12.9	≤ 25	T 0317
磨光值 PSV	—	45	≥ 42	T 0321
表观相对密度	—	2.931	≥ 2.6	T 0304
吸水率	%	1.1	≤ 2.0	T 0304
坚固性	%	7.1	≤ 12	T 0314
针片状含量	%	7.3	≤ 10	T 0312

水洗法<0.075mm 颗粒含量	%	0.29	≤1	T 0320
软石含量	%	0.31	≤2	T 0316

E.3 组成设计

E.3.1 碎石封层集料用量

E.3.1.1 工程选择 4.75~9.5mm 型碎石封层,集料筛分结果见表 E.2,表 5.2.2-1 集料推荐用量范围为 10~15kg/m²。具体集料用量采用经验法,将工程使用集料满铺在模具中(中心圆孔直径为 280mm),满铺效果如图 E-1 所示,称量集料质量(M_F),按照公式(E.1)计算集料用量(M_D)。

$$M_D = \frac{M_F}{A} \times K = \frac{0.8314}{0.0615} \times 1 = 13.49 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{E.1})$$

式中: M_D—集料用量(kg/m²);

M_F—预设规格满铺集料质量(kg);

A—正方形塑料板圆孔面积(0.0615m²)。

K—撒布量系数,撒布系数取 1。



E-1 集料满铺效果示意图

E.3.1.2 采用算法对经验法集料用量进行验证。具体计算方法如下:

1 按照本规程附录 D 方法,对集料进行筛分并绘制集料筛分曲线,计算集

料的中值粒径 D_m 为 6.8mm。

2 集料针片状含量 7.3%，中值粒径为 6.8mm，按式 (E.2) 计算平均最小厚度：

$$ALD = \frac{M}{1.1393 + 0.0115 \times FI} = \frac{6.8}{1.1393 + 0.0115 \times 7.3} = 5.63mm \quad (E.2)$$

式中：ALD—设计平均最小层厚 (mm)；

M—集料中值粒径 (mm)；

FI—集料针片状颗粒含量 (%)。

3 集料毛体积密度为 2.811g/cm³，松装空隙率为 42.6%，集料损失系数 E 为 1.05，按式 (E.3) 计算集料用量：

$$C = (1 - 0.4V) \times ALD \times G \times E \quad (E.3)$$

$$= (1 - 0.4 \times 42.6\%) \times 5.63 \times 2.811 \times 1.05 = 13.7kg/m^2$$

式中：C—集料用量 (kg/m²)；

V—集料松装空隙率；

ALD—设计平均最小层厚 (mm)；

G—集料毛体积密度 (g/cm³)；

E—集料损失率，宜为 1.05~1.10。

E.3.1.3 经验法与理论计算集料用量相近，以经验法用量为准，确定集料用量为 13.49kg/m²。

E.3.2 改性乳化沥青用量

E.3.2.1 由于经验不足，采用算法按照式 (E.4) 计算改性乳化沥青用量，其中交通量修正系数 T 取 0.88，路面状况修正系数 S 取 0.15，集料吸收系数 A 取 2%，沥青密度 ρ 为 1.035g/cm³，改性乳化沥青蒸发残留物含量 65.2%，其修正系数 W 取 0.94，改性乳化沥青用量：

$$B_e = (0.4 \times ALD \times V \times T + S + A) \times \rho \times \frac{W}{0.01R} \quad (E.4)$$

$$= (0.4 \times 5.63 \times 42.6\% \times 0.88 + 0.15 + 2\%) \times 1.035 \times \frac{0.94}{0.652} = 1.51 kg/m^2$$

式中：B_e—改性乳化沥青用量 (kg/m²)；

ALD—设计平均最小层厚 (mm)；

V—集料松装空隙率；

T—交通量修正系数，按照表 5.4.2-1 取值；

S—路面状况修正系数，按照表 5.4.2-2 取值；

A—集料吸收系数，宜为 1%~2%；

ρ —沥青密度 (g/cm^3)；

W—改性乳化沥青洒布修正系数，按照表 5.4.2-3 取值；

R—改性乳化沥青蒸发残留物含量 (%)

E.3.3 碎石封层性能测试结果

以 $1.51\text{kg}/\text{m}^2$ 作为初试改性乳化沥青用量、并以该初试用量增减 $0.1\text{kg}/\text{m}^2$ 的 3 个改性乳化沥青用量制备试件，进行碎石封层板冲击试验和碎石封层初期成型扫刷试验，结果见表。

表 E.4 碎石封层试验测试结果

试验项目	改性乳化沥青用量 (kg/m^2)	单位	规格	技术要求	测试结果
碎石脱落率	1.61	%	4.75~9.5	≤ 10	1
	1.51				3
	1.41				6
初期成型扫刷损失率	1.61	%	4.75~9.5	≤ 10	4.5
	1.51				4.7
	1.41				5.6

根据上述试验结果，结合碎石封层改性乳化沥青计算用量，该碎石封层合理的改性乳化沥青用量为 $1.51\text{ kg}/\text{m}^2$ （改性乳化沥青蒸发残留物含量 65.2%）。

E.3.4 碎石封层材料设计用量

碎石封层集料粒径规格为 4.75~9.5mm，集料设计用量为 $13.49\text{kg}/\text{m}^2$ ，改性乳化沥青设计用量为 $1.51\text{ kg}/\text{m}^2$ 。

本规程用词用语说明

1 本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

1) 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”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3) 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”。

4) 表示稍有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”；

2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》（×××）的有关规定”；

3) 当引用本规程中的其他规定时，表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本规程第×.×节的有关规定”、“应符合本规程第×.×.×条的有关规定”或“应按本规程第×.×.×条的有关规定执行”。