



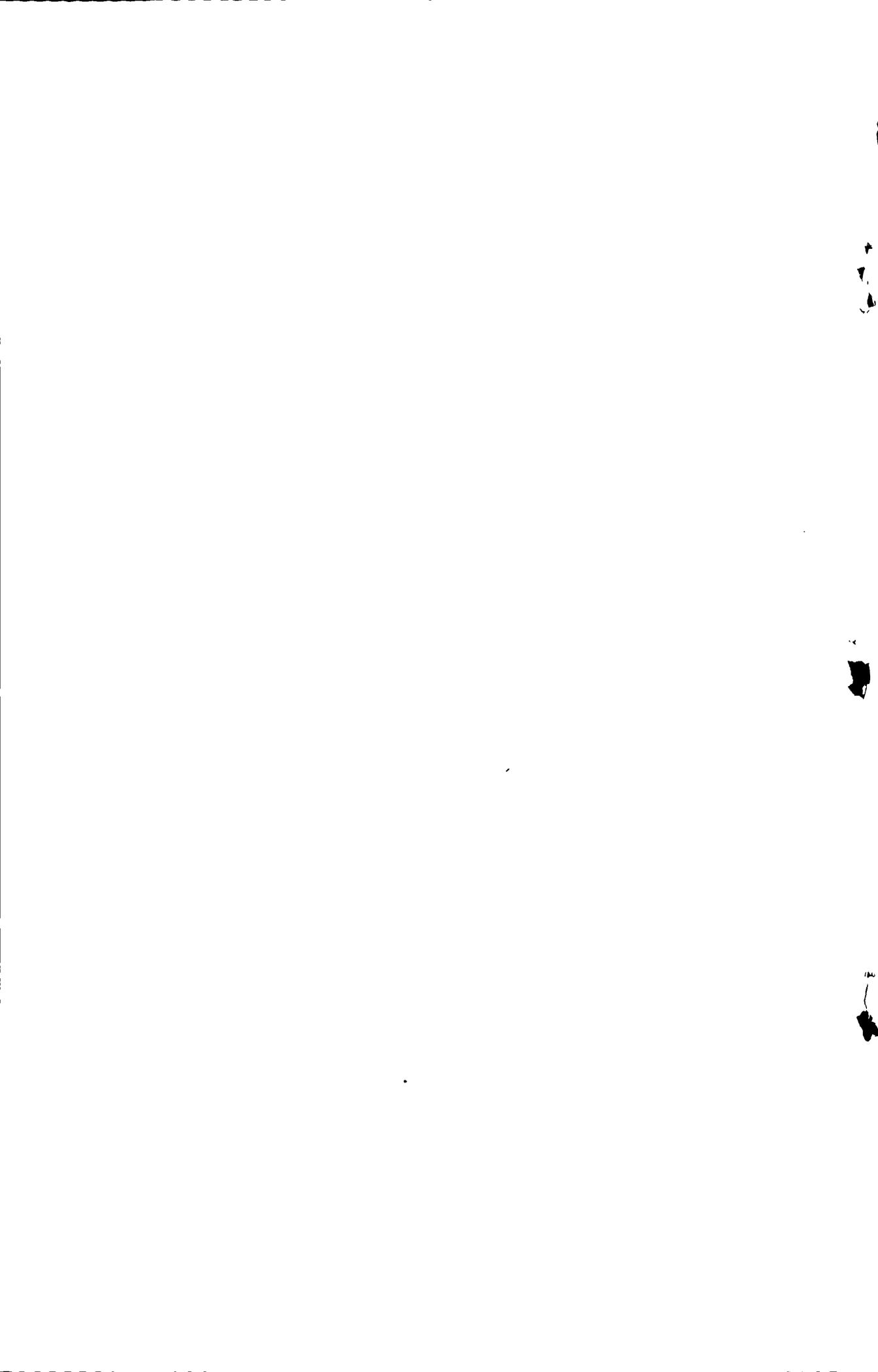
Research on Constructing Technique of Synchronous Chip Seal

A Dissertation Submitted for the Degree of Master

Candidate: Dong Qiang-zhu

Supervisor: Prof. JIAO Sheng-jie

Chang'an University, Xi'an, China



论文独创性声明

本人声明：本人所呈交的学位论文是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表的成果。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：董强柱 2009年12月6日

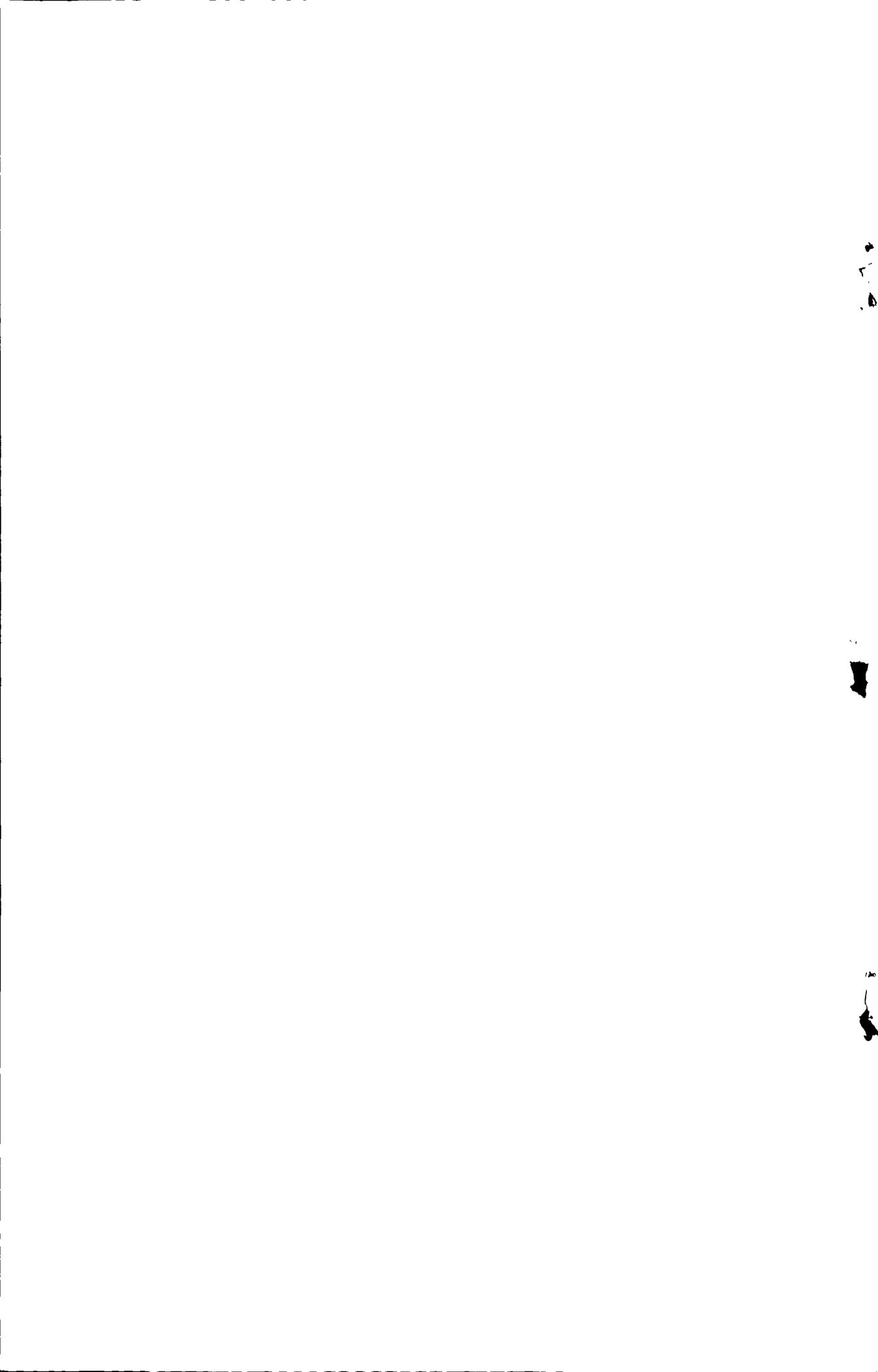
论文知识产权权属声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属学校。学校享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为长安大学。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名：董强柱 2009年12月6日

导师签名：李俊 年 月 日



摘 要

同步碎石封层是目前最经济的道路养护方法之一，就是将符合一定要求的沥青粘结材料和碎石洒（撒）布在旧路面或基层上，通过轮胎压路机及时碾压和通车自然碾压形成一种沥青碎石磨耗层，达到修复路面病害、恢复路面使用性能、延长道路使用寿命的目的。2002年同步碎石封层技术进入中国以来，由于对施工工艺和施工材料缺乏足够的研究，同步碎石封层车理论和应用技术也未能完全掌握，其结果导致同步碎石封层技术的使用主要集中在技术要求相对较低的下封层作业。论文研究了同步碎石封层技术对沥青、碎石的要求和沥青与碎石之间的粘附性要求，分析了气候条件对同步碎石封层材料选择的影响；研究了同步碎石封层车技术现状、结构和工作原理，从生产率和成本的角度探讨了同步碎石封层施工中的设备选型与组合；按作业流程，对同步碎石封层施工工艺环节进行了研究。总结了同步碎石封层作业质量的评价方法，建议采用基于置信概率的方法评价同步碎石封层的作业质量。

关键词：同步碎石封层；施工技术；检测与评价；设备选型

Abstract

Synchronous chip seal is one of the most economical techniques used in road maintenance. It is to distribute the asphalt and aggregate on the old pavement or the grass roads, form one kind of wearing course after the compaction of tire-roller or vehicles. Synchronous chip seal can repair pavement distress, restore the service performance, extend the service life. In 2002, Synchronous chip seal technology enter china, which is mainly used in lower seal, but not the pavement maintance, because there is little studying on construction technology, materials, the theory and applied technology of chipsealer. In this paper, the materials, such as asphalt, aggregate, the adhesivity between them and the climatic influencing on the materials choice is studied; Based on the study of actuality , structure, and operating principle of chipsealer, machines model selection and combine method in chip seal is advised; Following the operation procedure, the construction technology is studied. Method based on fiducial probability is advised to be used in evaluating the construction quality, after summing up the methods used at present time.

Keywords: synchronous macadam seal coat, construction technology, check and evaluation, equipment selection

目 录

第一章 绪论	1
1.1 课题研究的目的和意义	1
1.2 同步碎石封层技术简介	3
1.3 同步碎石封层技术国内外研究现状	7
1.3.1 国外研究现状	9
1.3.2 国内研究现状	10
1.4 本文主要研究内容	10
第二章 同步碎石封层技术对材料的要求及结构	11
2.1 同步碎石封层技术对材料的要求	11
2.1.1 碎石的技术要求	11
2.1.2 沥青的技术要求	16
2.1.3 沥青与石料的粘附性要求	21
2.1.3 地区气候对材料的要求	22
2.2 同步碎石封层典型结构	24
2.3 同步碎石封层对设备的基本功能要求	25
第三章 同步碎石封层施工设备与组配	26
3.1 同步碎石封层车	26
3.1.1 同步碎石封层车分类	26
3.1.2 同步碎石封层车结构和工作原理	31
3.2 同步碎石封层设备选型与组配	36
3.2.1 基于生产率和成本的同步碎石封层车选型研究	36
3.2.2 同步碎石封层施工设备组合	38
3.2.2 同步碎石封层施工设备配置案例	40
第四章 同步碎石封层施工工艺	42
4.1 同步碎石封层路面准备	42
4.2 同步碎石封层车准备	47
4.2.1 碎石撒布系统校正	47

4.2.2 沥青洒布系统校正	48
4.3 同步碎石封层施工过程质量控制	49
4.4 施工过程交通控制	53
4.4.1 交通控制区	53
4.4.2 交通标志设置	53
4.4.3 交通组织维护方案和安全生产保证措施	55
4.5 同步碎石封层施工组织实例	55
第五章 同步碎石封层作业质量检测与评价	60
5.1 同步碎石封层现行作业质量检测与评价方法	60
5.1.1 沥青喷洒量不均匀度	60
5.1.2 碎石撒布量不均匀度	60
5.1.3 碎石露出高度	61
5.1.4 平均碎石脱粒率	62
5.1.5 成片性病害的检测	62
5.2 基于置信概率的同步碎石封层质量评价方法	63
第六章 结论与展望	67
6.1 结论	67
6.2 展望	67
参考文献	68
致 谢	73

第一章 绪论

1.1 课题研究的的目的和意义

公路是国家现代化建设的重要基础设施，社会经济发展到一定历史阶段的必然产物，是衡量一个国家或地区经济发展水平和现代化程度的重要标志。根据我国国民经济和社会发展对公路交通运输的要求，要想建立起适应中国国情的现代化公路运输体系，缓解我国交通运输的紧张局面，对于公路建设者来说，最关键的有两个方面：一是要加快高等级公路建设，提高整个路网技术等级；二是要切实加强对已建成公路的养护管理，改善路网结构，保障公路畅通。因此，建养并重、协调发展是公路建设自身发展的客观要求。公路越发展，越需要养护，技术越进步，越是要实行现代化的养护。

我国高速公路发展用了十多年的时间走过了发达国家需要 40 年才能达到的里程，1989 年我国高速公路通车里程仅为 271 公里，1999 年突破 1 万公里，2001 年达到 1.95 万公里，2002 年达到 2.52 万公里，2003 年达到 3 万公里，截至 2004 年底，我国高速公路的通车里程已经达到 3.6 万 km，世界第 2，一、二级公路超过了 30 万 km，迈入高等级公路大国行列，居世界第二。2006 年底我国公路通车总里程达到近 200 万公里，其中高速公路近 4.53 万公里，2007 年高速公路通车里程 5.3 万公里，已全面建成“五纵七横”国道主干线。2010 年前，全国公路通车里程将达到 210-250 万公里，基本建成西部 8 条省级通道，东部地区基本形成高速公路网，高速公路总里程 2030 年将达到 8.5 万公里。

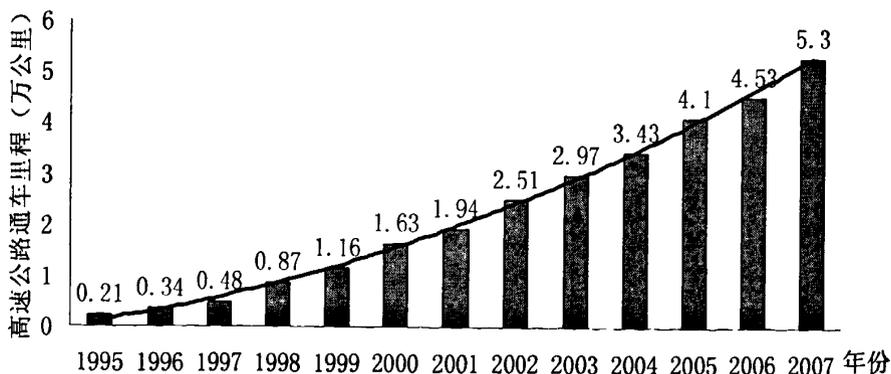


图 1.1 1995-2007 年高速公路通车里程

根据 2004 年 12 月 17 日国务院审议通过的《国家高速公路网规划》，未来 20 年内我国仍需要修筑高速公路 5 万多公里，形成由中心城市向外放射以及横连东西、纵贯南北的大通道，由 7 条首都放射线、9 条南北纵向线和 18 条东西横向线组成，简称“7918

网”，形成总规模约 8.5 万公里（其中：主线 6.8 万公里，地区环线、联络线等其他路线约 1.7 万公里）的国家高速公路网。

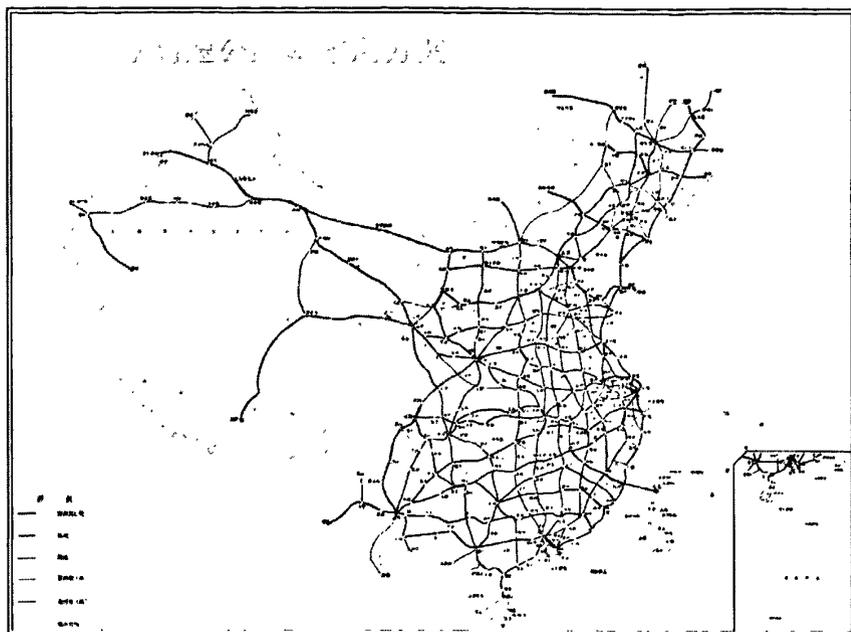


图 1.2 国家高速公路网-“7918”网

沥青路面因具有地质条件适应性强、行车舒适、维护方便等优点在我国公路建设中得到了广泛的应用。但沥青路面在交通载荷与气候影响的作用下，随着时间的推移，路面状况和服务能力逐渐地恶化。为了保持路面良好的使用性能和延长它的使用寿命，在路面寿命周期的各个不同阶段需要采用不同的养护维修措施。沥青路面的养护维修工作对保持路面的服务能力、延长其寿命周期、以及改善噪音、振动等对周边环境的污染有着重要的作用。在我国高速公路建设的初期，路面养护的工作量还不是很大，人们容易产生重建设、轻养护的思想，但是随着我国公路建设的重点逐步向中、西部地区推移，在东南沿海地区将迎来一个路面养护维修的高潮。养护维修技术正日益成为人们关注的一个热点。

上世纪 80 年代，以美国为主的许多西方国家，开始进行大规模的公路网重建工作。他们在总结以往公路养护经验的基础上提出了“预防性养护”（PM: Preventive Maintenance）这样一个完整的概念：“路面在使用一定年限后尚未损坏或只有轻微病害时，为了防止已出现病害进一步扩展、在一定程度上提高或保持路面良好的性能，延长道路使用寿命的养护作业”。其主要手段是在尚处于良好技术状态下的路面上连续摊铺一层或多层具有一定厚度的薄保护层，目前使用的预防性养护薄层技术有：雾封层（Fog Seal）、稀浆封层（Slurry Seal）、微表处（Micro-Surfacing）、稀浆罩面、薄层摊铺、碎

石封层 (Chip Seal) 与同步碎石封层 (Synchronous Chip Seal)。

同步碎石封层技术同时还是世界上成本最低的乡村道路建造技术, 是欧美国家修建乡村公路的首选解决方案。中国有广大的地区需由乡村公路网来覆盖, 以达到“乡乡通油路, 村村通公路”的目标, 尤其是中国西部地区公路建设资金更紧缺, 同步碎石封层技术将是中国乡村公路建设的良好解决方案。

1.2 同步碎石封层技术简介

碎石封层是一种常用的柔性路面预防性养护技术, 将符合一定要求的沥青粘结材料 (道路石油沥青、煤沥青) 和碎石洒 (撒) 布在旧路面或基层上, 通过胶轮压路机及时碾压和通车自然碾压形成的一种沥青碎石磨耗层。

碎石封层最主要的目的是: 修复微小的路面病害, 防止基层和地基水侵入。撒布碎石的目的是防止车轮破坏沥青层, 改变道路宏观构造, 提高道路的制动能力。

碎石封层最初主要用于交通量较小的沙砾路面罩面, 随着施工技术和施工材料的进步, 在过去的 70 多年中, 碎石封层技术在小交通量和大交通量道路养护中被成功运用。由于比其它养护技术更经济, 在现有道路结构性能足以支撑车辆载荷的情况下尤为明显, 碎石封层技术被广泛使用。美国、澳大利亚、法国、加拿大、南非、新西兰和英国等都对碎石封层技术进行了系统的研究。

随着科学技术的发展, 法国 SECMAIR 公司发明了采用一台设备, 同时进行沥青和碎石洒 (撒) 布的工艺——同步碎石封层 (如图 1.3 所示), 大大提高了碎石封层的质量, 拓展了碎石封层技术的应用范围, 在世界范围内同步碎石封层技术均获得了广泛使用。

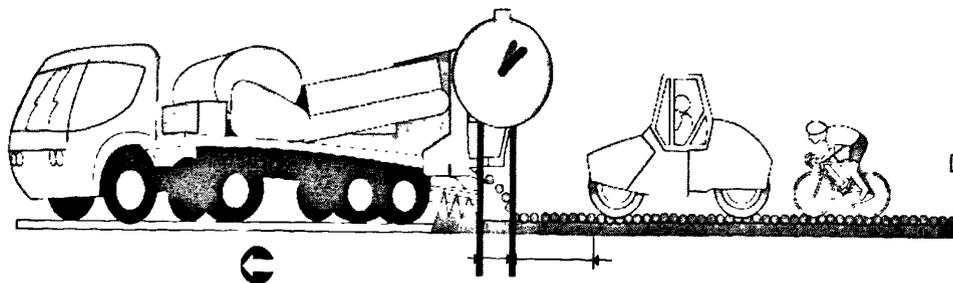


图 1.3 同步碎石封层施工示意图

同步碎石封层主要特点有:

(1) 窗帘效应

沥青和碎石同步 (间隔大约 1 秒) 落下, 碎石流就像一个“窗帘”, 及时抑制了沥青

洒布时产生的难闻的浓烈黑烟的扩散，一方面减少了污染，改善了施工环境；另一方面，降低了热量的损失，把热量留在沥青和石料的裹附作用中；

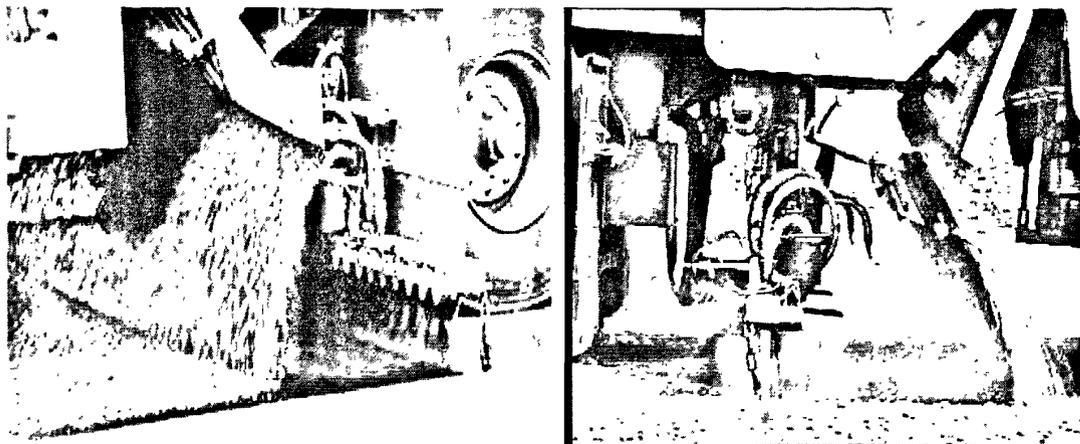


图 1.4 同步碎石封层的窗帘效应

(2) 高温粘结

传统石屑封层中，采用沥青洒布车和碎石撒布车进行作业，两台设备相隔较远，沥青与骨料的结合温度已经降到很低（约 70°C ），沥青结合料与骨料的结合性差；同步碎石封层中沥青与骨料的结合温度下降很小（约在 120°C ），沥青结合料与骨料的结合性能非常好；

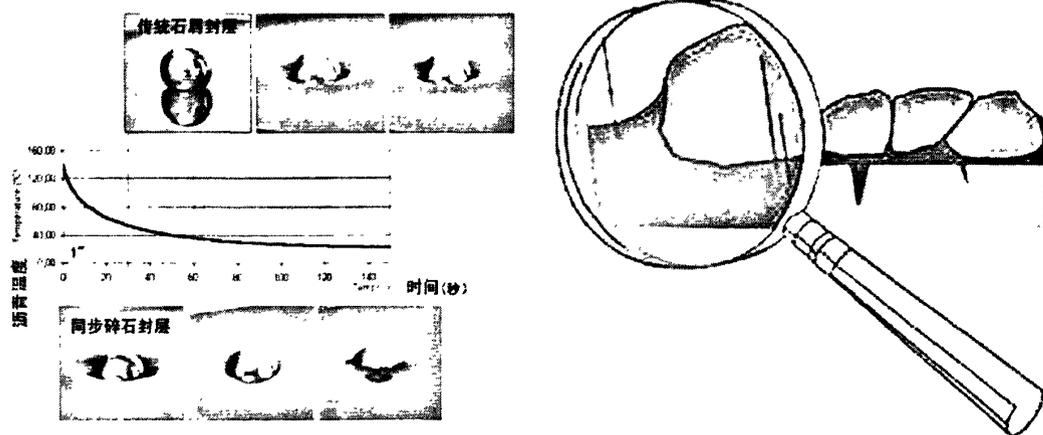


图 1.5 同步碎石封层的高温粘结特性

(3) 修复路面病害

同步碎石封层能够增加路面抗裂性能、减少路面反射裂缝、治愈路面龟网裂、提高路面防渗水性能，用于道路养护可延长路面使用寿命 10 年以上，若使用聚合物改性粘结材料效果更佳；

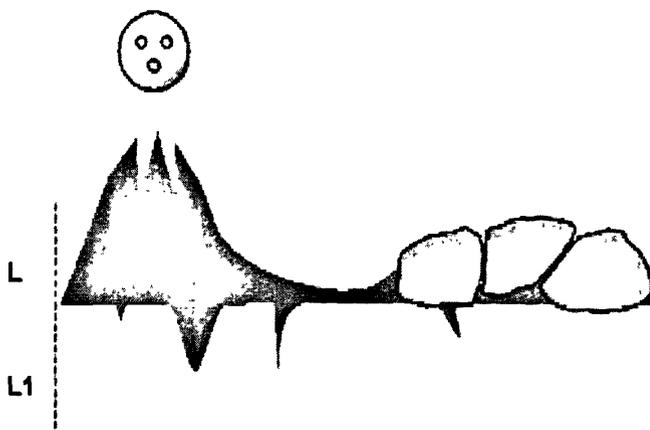


图 1.6 同步碎石封层修补道路表面缺陷

(4) 低消耗、低成本；高速度、高质量

在我国，公路建设耗资巨大，现在一年投资大约 3000 亿，因此节约成本和能源问题成为整个行业关注的焦点问题。同步碎石封层技术是世界上公认的成本最低的各等级道路养护技术与乡村道路建设技术，据测算每平方米路面使用 1.5 公斤沥青结合料，8~12 升骨料即可，其成本只是微表处的约 50%，是 3cm 热铺的 30%左右。同时作业速度明显优于其它混合料的摊铺技术，机动性强，可用于路面封层及路面不等面积的修补；

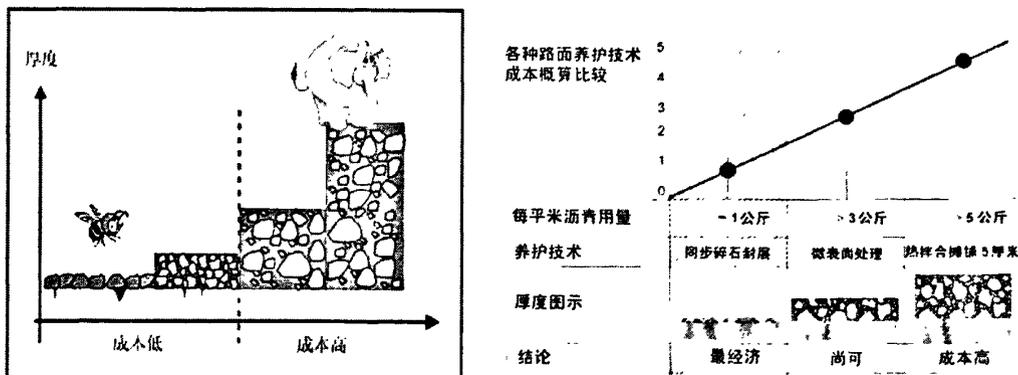


图 1.7 同步碎石封层与其它施工工艺的成本比较

(5) 工艺简单，施工质量高

同步碎石封层表面无沥青，减少了夜间行车反光；路面颜色略浅，夏季减少吸收阳光，降低路面温度；雨天防止水花飞溅；自然纹理粗糙，美观。

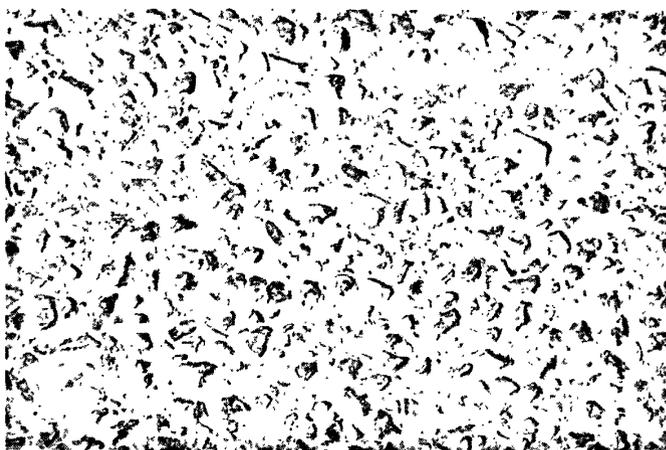


图 1.8 同步碎石封层的纹理

一般情况下，同步碎石封层适用于小到中等车流量的道路 (≤ 10000 辆/天)。主要是因为同步碎石封层完成后开放交通初期，随着车速的逐渐升高，飞溅碎石会破坏汽车挡风玻璃。但在施工组织好，并增加辅助处理工艺的情况下，同步碎石封层也可以用于高速、大交通流量的道路养护，美国已采用该技术进行州际公路的养护。

同步碎石封层的质量受天气影响较大，尤其是施工作业时的天气情况。温暖、晴朗，湿度低的天气最理想；湿度大、寒冷的天气，不利于沥青凝固，新作的同步碎石封层容易被通过的车辆破坏；雨天施工时，如果使用乳化沥青，沥青会被稀释，漫过碎石顶部，水蒸发后，沥青会覆盖碎石表面，碎石也容易被通过的车辆粘走，在大雨情况下，绝对不允许进行同步碎石封层施工。

采用同步碎石进行养护的道路，路况条件要好。有车辙、开裂和坑洞的道路，修复病害后（该项工作通常要在进行同步碎石封层施工的前一年完成），方能进行同步碎石封层施工。

同步碎石封层可以修复小到中等的龟裂，小到中等的破损，小到中等的横向和纵向裂缝，增加摩擦系数低的路面的摩擦系数。

其具体的应用包括：

(1) 同步碎石封层主要作为包括高速公路及其它高等级公路在内的各种公路的预防性养护罩面层，即在旧沥青路面上铺筑碎石封层，修补微小病害、防水、裂缝、防滑、磨损罩面层，防止病害的蔓延，以延长道路使用寿命；

(2) 用于新建道路的下封层；

(3) 新建低等级公路及农村公路的面层；

(4) 桥面及河边公路防水面层；

- (5) 新建水泥路面下的应力吸收缓冲层；
- (6) 旧水泥路面改造为沥青面层的防水面层；
- (7) 通过局部多层摊铺不同粒径的同步碎石封层，治理 10-20mm 以下的车辙、沉陷等病害。

1.3 同步碎石封层技术国内外研究现状

早在 19 世纪，人们就开始采用瓢泼沥青、锹撒碎石的方式进行碎石封层作业，养护受损的道路。

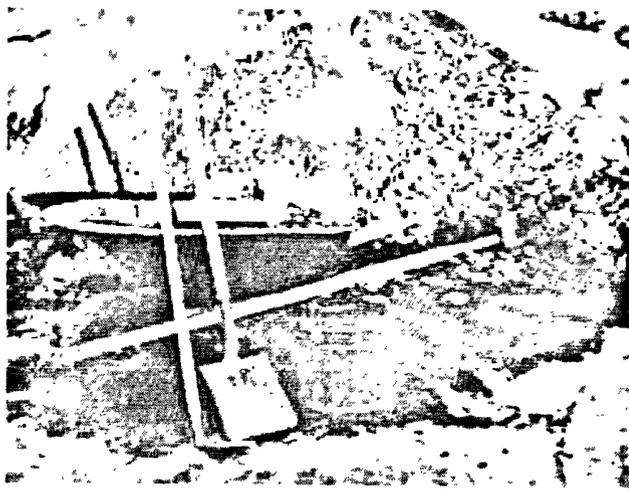


图 1.9 早期的“瓢泼沥青、锹撒碎石”封层作业工具

19 世纪末、20 世纪初，出现了畜力驱动的沥青洒布装置和第一台手推碎石撒布车。

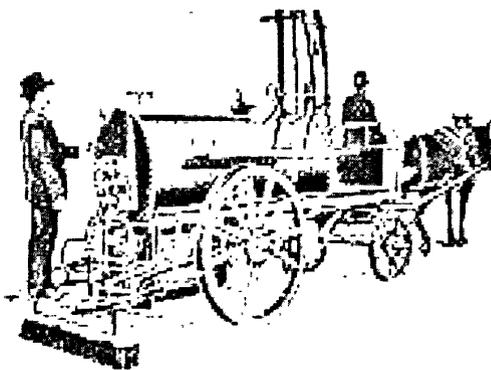


图 1.10 畜力驱动的沥青洒布装置

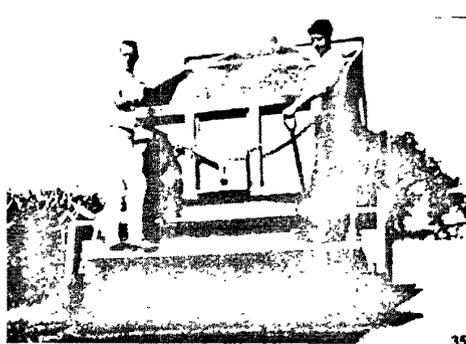


图 1.11 1888 出现的手推碎石撒布车

柴油机技术成熟以后，很多依靠人力或畜力完成的工作，纷纷被以柴油机为动力的机器所代替。碎石封层技术得到了快速发展，采用汽车底盘的沥青洒布车和碎石撒布机取代人工作业，大幅度提升碎石封层的施工速度和质量。



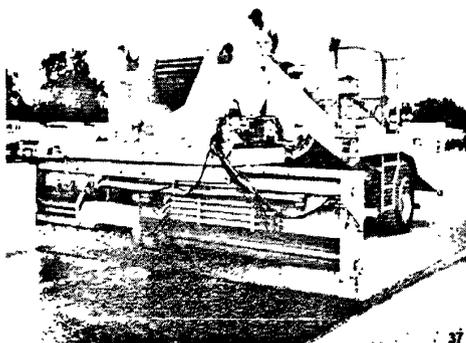
二十世纪 20 年代中期的沥青洒布车



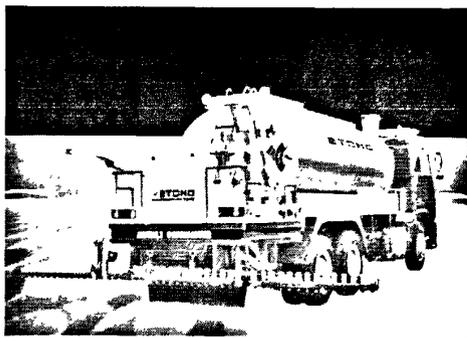
挂式碎石撒布车



卡车式碎石撒布车



自行式碎石撒布车



智能沥青洒布车

图 1.12 碎石封层技术的发展历程

采用沥青洒布车和碎石撒布机两台设备，通过两次洒布进行碎石封层施工的技术，直到今天仍在使用的。



图 1.13 至今仍在使用的碎石封层技术

1985年,法国 SECMAIR 公司提出了采用一台设备,同时进行沥青洒布和碎石撒布的施工工艺—同步碎石封层工艺,并发明了第一台同步碎石封层车。20世纪90年代,同步碎石封层传播到整个欧洲及美国,还在俄罗斯、非洲、印度、澳洲等数十个国家和地区得到应用,2002年,同步碎石封层工艺开始进入中国。

表 1.1 同步碎石封层技术国外应用情况 (%)

国家	同步碎石封层技术	粘结罩面	冷拌和	稀浆封层	其它
英国	75	10	15	0	0
新西兰	65	25	0	10	0
法国	60	15	20	3	2
德国	59	20	17	3	1
西班牙	56	17	15	6	6
澳大利亚	55	19	5	10	11
荷兰	51	34	3	9	3
希腊	0	87	3	10	0
意大利	5	85	0	5	5
土耳其	42	52	5	0	1
墨西哥	40	4	50	5	1
葡萄牙	12	33	49	4	2
巴西	40	4	44	12	0

1.3.1 国外研究现状

同步碎石封层技术是法国赛格玛公司在 40 多年的实际道路筑养经验中总结发明的新一代道路养护技术,并研制出相应的施工设备—同步碎石封层车。该技术 80 年代起源于法国,90 年代在法国、印度、美国、俄罗斯以及南、北美洲和非洲的部分国家和地区得到了广泛的应用。由于该技术施工工艺简单,造价低,适用范围广,且对环境污染少,而受到公路管理者和建设者的青睐,该技术和设备已经被法国公路总署全面采用和推广^[17]。

根据国外的应用经验同步碎石封层技术可以有效地增加路面的使用寿命。在法国,公路一般设计使用年限为 10—20 年,当新建路面投入使用 10 年后,立即采用同步碎石封层技术对路面进行中期养护,作为保护及磨损层,将路面的使用年限延长到 10 年以上;在美国,在基层上采用同步碎石封层技术,可以使路面的使用寿命增加到 10 年以

上；在澳大利亚，有关机构研究发现通过这种方法设计重建的乡村道路，可以将损坏比较严重的道路寿命增加 10—15 年^[17]。

1.3.2 国内研究现状

在我国，同步碎石封层技术尚处于起步阶段。目前，同步碎石封层技术在我国辽宁省、湖南省等地的高速公路下封层及国道、省道的建设中已经得到应用^[18, 19, 20]。由于这项技术优越的性能，许多公路建设部门对他产生了浓厚的兴趣，但总的来说，由于这项技术在我国才刚刚开始得到应用，许多施工工艺还没有完全掌握，更缺乏施工经验，在施工材料的研究上还处于空白，在同步碎石封层车的研究上还没有开始，还有许多理论上和应用上的问题没有掌握。与其他技术如稀浆封层技术相比，同步碎石封层技术具有较强的防水性，极高的防滑性，具有处理路面裂缝的良好性能，这非常适合我国许多地方降水多、雨季长、山区广的气候特点。我国区域辽阔，公路状况差异大，而同步碎石封层技术既适用于高等级公路，也适用于普通城市公路、乡村公路等，而且不受各种不同的气候、交通能力等因素的影响。另外，同步碎石封层技术是能耗较低的路面养护技术，即不需要花很大的投资就可以覆盖较大的使用区域，这也是该项计划得以迅速发展的基础，对于尚处于发展阶段的中国来说是非常适合的^[20]。北京路桥中咨科技有限公司，于 2005 年在广西壮族自治区南宁至友谊关公路将该技术应用于下封层，取得了良好的效果。

1.4 本文主要研究内容

与国外同类研究相比，国内同步碎石封层技术的研究起步相对较晚，其研究还很不完善。本课题研究的主要目的是立足于国内技术水平，跟踪国外先进技术，为国内同步碎石封层施工提供借鉴。主要研究内容如下：

(1)在查询国内外文献的基础上，研究同步碎石封层对材料的要求及同步碎石封层的结构；

(2)研究同步碎石封层车技术现状及结构和工作原理，以及基于成本和生产率的同步碎石封层车选型和施工设备组配；

(3)研究同步碎石封层的路面准备、车辆校正、施工过程质量控制及交通控制等工艺环节；

(4)研究同步碎石封层作业质量检测与评价方法。

第二章 同步碎石封层技术对材料的要求及结构

2.1 同步碎石封层技术对材料的要求

材料（包括沥青和碎石）是影响同步碎石封层质量的关键因素之一。为此试验室要进行大量的试验工作，从诸多路用材料中优选出最适合同步碎石封层的材料。

2.1.1 碎石的技术要求

(1) 碎石的类型

路用碎石一般可以分为4个等级：

A级碎石：经过破碎或开采的暗色石（玄武岩、辉绿岩、辉长岩或其它相似的火成岩）、石英岩和花岗岩；

B级碎石：其它的破碎或开采的岩石，如石灰石、白云石、流纹岩和片岩；

C级碎石：天然石料或部分破碎的从沙砾沉积层采集的沙砾；

D级碎石：上述两种或两种以上碎石的混合物。

表 2.1 常见的岩石的抗压、抗剪及抗拉强度

岩石名称	抗压 (MPa)	抗剪 (MPa)	抗拉 (MPa)
花岗岩	100~250	15~50	7~25
闪长岩	150~300		15~30
辉长岩	150~300		15~30
玄武岩	150~300	20~60	10~30
砂岩	20~170	8~40	4~25
页岩	5~100	3~30	2~10
石灰岩	30~250	10~50	7~25
白云岩	30~250		15~25
片麻岩	50~200		5~20
板岩	100~200	15~30	7~20
大理岩	100~250		7~20
石英岩	150~300	20~60	10~30

同步碎石封层碎石材料的选择要综合考虑获取的方便性、价格，以及进行同步封层

道路的类型、车流量和变化情况。以下是碎石选择所需考虑的几个原则：

- 1) 抵抗车辆磨损和雪犁破坏的能力：A级碎石最硬，比B级和C级碎石更能抵挡车辆磨损；另外，因为形状的关系，破碎的碎石，如A级、B级碎石要比C级碎石具有更好的镶嵌效果，更能抵挡雪犁的破坏；
- 2) 沥青用量：B级和C级碎石由于吸收能力好，要比A级碎石需要更多的沥青；
- 3) 价格：C级碎石因为不需要破碎，要比A级、B级碎石便宜；
- 4) 抵抗转向和缓冲性能：因为经过破碎，A级和B级碎石比C级碎石拥有更多的角，能够为车辆停车和转向提供更好的摩擦阻力。

表 2.2 常见岩石的物理性质

岩石名称	相对密度	天然密度 (t/m^3)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	软化系数
花岗岩	2.5~2.84	2.30~2.80	0.04~2.80	0.10~0.70	0.75~0.97
闪长岩	2.60~3.10	2.52~2.96	0.25	0.30~0.38	0.60~0.84
辉长岩	2.70~3.20	2.55~2.98	0.29~1.13	/	0.44~0.90
辉绿岩	2.60~3.10	2.53~2.97	0.29~1.13	0.80~5.00	0.44~0.90
玄武岩	2.60~3.30	2.54~3.10	1.28	0.30	0.71~0.92
砂岩	2.50~2.75	2.20~2.70	1.60~28.30	0.20~7.00	0.44~0.97
页岩	2.57~2.77	2.30~2.62	0.40~10.00	0.50~1.44	0.24~0.55
泥灰岩	2.70~2.75	2.45~2.65	1.00~10.00	1.00~3.00	0.44~0.54
石灰岩	2.48~2.76	2.30~2.70	0.53~27.00	0.10~4.45	0.58~0.94
片麻岩	2.63~3.01	2.60~3.00	0.30~2.40	0.10~3.20	0.91~0.97
片岩	2.75~3.02	2.69~2.92	0.02~1.85	0.10~0.20	0.40~0.80
板岩	2.84~2.86	2.70~2.78	0.45	0.10~0.30	0.52~0.82
大理岩	2.70~2.87	2.63~2.75	0.10~6.00	0.10~0.80	/
石英岩	2.63~2.84	2.60~2.80	0.00~8.70	0.10~1.45	0.96

(2) 碎石的形状

碎石形状可以用扁平和立方或圆滑和有角来描述。

采用扁平和长条形碎石施工的同步碎石封层质量受交通量影响较大。碎石越是扁平，同步碎石封层质量越是容易受车流量的影响，车轮经过较多的区域容易出现泛油，

没有车轮经过的区域容易产生过多的碎石掉粒。因为在整个宽度范围内，沥青洒布量是一定的，车轮的碾压倾向于使扁平碎石的扁平面朝下，同步碎石封层变薄，沥青洒布量过大，车轮经过较多的区域就会出现泛油；沥青洒布量过小，没有车轮经过区域的碎石在车辆载荷和雪犁作用下，容易脱落。

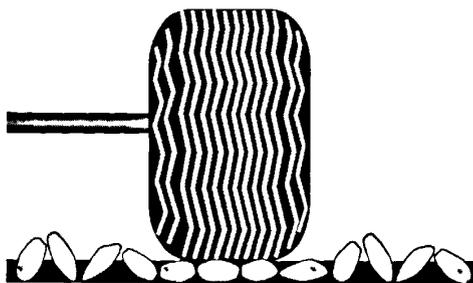


图 2.1 车轮作用使得扁平碎石的扁平面朝下

采用立方碎石进行同步碎石封层，交通量对碎石的摆放方向没有明显的影响。因为无论碎石如何摆放，同步碎石封层的厚度不会发生太大的变化，碎石嵌入沥青层的高度一致。

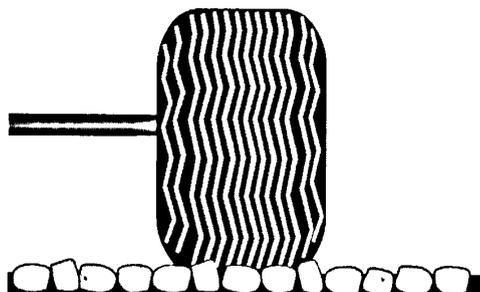


图 2.2 车轮作用对采用立方碎石的同步碎石封层影响较小

因此，一般规定扁平系数大于 25% 的碎石不宜用于同步碎石封层。具体包括：

- 1) 在沥青用量设计过程中，分别计算车轮经过的地方和没有车轮经过地方的沥青用量；
- 2) 在大流量道路上只能使用扁平系数小于 20% 的立方碎石；
- 3) 在车轮经过较多的地方增加 5%~10% 的碎石用量，防止沥青未凝固时，扁平碎石粘附到车轮上。

圆滑碎石会影响同步碎石封层面上车辆的转弯和停车性能。圆的碎石是指未经破碎的碎石，经过破碎的碎石至少具有一个破碎面。圆的碎石比有角的碎石更容易滚动和移动，因为后者镶嵌效果好。圆形碎石很难获得如有角的碎石那样的镶嵌效果，除非采用级配碎石，但级配碎石还会带来其它的问题。

使用圆形碎石应注意：

1) 要使用统一尺寸的碎石。圆形碎石镶嵌效果差，容易被雪犁铲起，使用相同尺寸的圆形碎石，有助于防止雪犁铲走高的碎石；

2) 使用圆形碎石进行同步碎石封层，一定要确保碎石嵌入到一定的深度，嵌入深度浅时，圆形碎石更容易被雪犁铲走；

3) 双层同步碎石封层是使用圆形碎石进行同步碎石封层的一种理想方案，特别是用在车流量大的道路上。上层碎石约为下层碎石尺寸的一半，下层碎石完全浸没在沥青里。上层碎石越小越不容易破坏挡风玻璃，而且表面比单层同步碎石封层平滑，不容易被雪犁破坏。

(3) 碎石的级配

同步碎石封层中采用单一级配碎石最为理想。碎石属于单一级配的标准是所有的碎石尺寸都在两个连续的网孔之间。

采用单一级配碎石的优点主要表现在：

1) 因为有更多的碎石与车轮接触，车轮和路面之间的摩擦系数达到最大；

2) 沥青的用量容易确定，泛油机率小。因为一颗碎石位置摆放好以后，周围的碎石也相应会摆好位置；

3) 碎石之间表面有顺畅的通道，能够快速排走积水。

级配碎石包括密级配碎石和开级配碎石。碎石尺寸越多，同步碎石封层的质量越差。因为级配碎石之间空隙小，能够容纳的沥青少，在泛油和沥青过少两者之间界限很窄。如果级配计算不好，会增加泛油的概率。

使用级配碎石进行同步碎石封层施工，存在的问题有：

1) 大的、超过同步碎石封层平均厚度的碎石容易被车轮或雪犁带走；

2) 一些非常小的碎石会完全嵌入沥青里，导致泛油；

3) 车轮能够接触的碎石较少，路面摩擦系数小；

4) 很难确定粘附大多数大颗粒碎石，而不浸没小颗粒碎石的沥青用量。

(4) 碎石的清洁度

未经过预处理，含有灰尘的碎石不能用于同步碎石封层。灰尘会裹覆在碎石表面，阻止碎石和沥青粘结，导致碎石掉粒。干净的碎石中，能够通过#200 筛网（75 μm ）的成份含量不能超过 1%。

如果无法提供干净的碎石，可在同步碎石封层前对碎石进行以下处理：

1) 清洗碎石。用干净、流动的水清洗碎石，用筛网筛除不需要的组份。用输送机将碎石运送到干燥的场地；

2) 采用高泡乳化沥青进行同步碎石封层，可以允许碎石中能够通过#200 筛网（75 μm ）的成份含量不超过 5%。乳化沥青中的水可以剥离碎石上的灰尘，让碎石和沥青粘结更牢固。

(5) 碎石质量指标

目前国内同步碎石封层用集料相关试验有筛分试验、针片状试验、粉尘试验、单位面积的体积试验、洛杉矶磨耗试验、压碎试验。

① 筛分试验

用筛分法取样1000克干燥集料，集料在经过孔径为10mm、8mm、6.3mm的筛子时，用天平称筛余质量，计算出筛余百分率、累计筛余百分率和通过百分率，从而确定集料是否合乎标准。

② 针片状试验

用筛分法取样1000克干燥集料，集料经过孔径为8mm、6.3mm、5mm的筛子时，用天平称筛余质量，计算出筛余百分率、累计筛余百分率和通过百分率。通过上面两个试验可以推算出在粒径为6.3mm-10mm的骨料中针片状含量。

③ 集料粉尘率试验

先把集料烘干，称质量为 M_1 ，用水洗净烘干，再通过粒径为160 μm 的筛子后，称质量为 M_2 ，则粉尘率 $C=(M_1 - M_2) \div M_1 \times 100\%$ 。

④ 单位面积的集料体积试验

把容量盒放在碎石封层车底下，当碎石封层车驶过路面时，把容量盒竖起来，观察容量盒内集料的体积，从而得到集料中单位面积的集料体积。

⑤ 集料洛杉矶式磨耗试验

将碎石用水洗净，置于湿度为 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 的烘箱中，烘干至恒重按规定选取碎石试样，称出试样质量为 m_1 。将选好的碎石放在试样筒内，并加直径为48mm的钢球12个，总质量 $5000\text{g} \pm 50\text{g}$ 、盖好筒盖，调整计数器至零。开动电动机，使圆筒以器30-33r/min的速度旋转，待圆筒转至500转，取出试样置于2mm的圆孔筛上，筛去石粉和石屑，用水冲洗干净，将残留在筛上的碎石在 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘至恒重，并准确称出磨耗

后试样质量 m_2 ，则集料磨耗率：

$$Q_{ab}=(m_1-m_2)/m_1 \times 100\% \quad (2.1)$$

⑥ 集料压碎值试验

将试筒安放在铁板上，将试样分三次倒入试筒中，每次均将试样表面整平，并用金属棒的半球面端从集料表面上方约50mm的高度自由下落均匀夯击25次，最上层表面应仔细整平，称取量筒中试样的质量(m_0)。压柱放入试筒内集料面上，注意使压柱摆平，勿楔挤筒壁。将装有试样的试筒连同压柱放到压力机上，均匀的施加荷载，在10min内达到总荷载400KN，达到总荷载后，立即卸载，将试筒从压力机上取下，将筒内试样取出，注意勿进一步压碎试样，用2.36mm筛筛分经压碎的全部试样，可分几次筛分，均需筛到在1min内无明显的筛出物为止。称取通过2.36mm筛孔的全部细料质量 (m_1)。则集料压碎值为：

$$Q_u=m_1/m_0 \times 100\% \quad (2.2)$$

我国有关规范中至今没有有关同步碎石封层用碎石料质量的技术要求，但《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)中，对沥青混合料用粗集料的质量技术要求可供同步碎石封层选用石料时参考，见表2.3。

表 2.3 沥青混合料用粗集料质量技术要求

指 标	高速公路及一级公路		其它等级公路	试验方法
	表面层	其它层次		
集料压碎值 (%)	≤26	≤28	≤30	T 0316
洛杉矶磨耗损失 (%)	≤28	≤30	≤35	T 0317
表观相对密度 (t/m ³)	≥2.60	≥2.50	≥2.45	T 0304
吸水率 (%)	≤2.0	≤3.0	≤3.0	T 0304
坚固性 (%)	≤12	≤12	—	T 0314
针片状颗粒含量 (混合料) (%)	≤15	≤18	≤20	T 0312
其中粒径大于 9.5mm	≤12	≤15	—	
其中粒径小于 9.5mm	≤18	≤20	—	
水洗法<0.075mm 颗粒含量 (%) 不大于	≤1	≤1	≤1	T 0310
软石含量 (%) 不大于	≤3	≤5	≤5	T 0320

2.1.2 沥青的技术要求

法国杰克·巴迪特教授认为：“同步碎石封层对沥青没有特别的要求”。这种说法很容易引起误解，其实沥青结合料的品种、质量与用量对同步碎石封层的质量起到决定性作

用。

根据碎石封层的类型、使用场合、施工季节、环保要求、施工习惯等的不同，碎石封层可以选择（改性）乳化沥青、稀释沥青、改性沥青、再生性乳化沥青等不同的沥青结合料。异步碎石封层多采用稀释沥青和高粘度的乳化沥青作为结合料，用于大交通量道路时也采用改性沥青作为结合料，较少使用普通石油沥青。这是因为普通沥青不容易洒布均匀，且洒布到路面以后会因为温度迅速降低而影响与石料的粘附性^[16]。

从同步碎石封层的原理可知，同步碎石封层用结合料必须具有足够的粘结性，以保证一定的粘结强度；要具有足够的爬升高度，以保证一定的裹覆面积；要具有较广泛的适用性，以保证与石料的配伍性。因此，同步碎石封层施工中所使用的路用石油沥青、改性沥青和改性乳化沥青有严格的要求。

路用石油沥青价格低廉，符合《公路沥青路面施工技术规范（JTGF-40-2004）》的A级石油沥青一般都可以满足同步碎石封层施工的要求。改性沥青或改性乳化沥青能顺利进入并填充微小裂缝，并能与碎石紧密粘结。但是这两种沥青的成本较高，我国基质沥青质量不稳定，对改性剂的添加量等应严格把关。而且使用改性乳化沥青时应保证与石料结合后及时破乳，并待破乳水分蒸发并基本成型后才可以通车。

（1）基质沥青

在施工中选用沥青材料时首先应满足（JTGF-40-2004）《公路沥青路面施工技术规范》中“道路石油沥青技术要求”中对A级沥青的技术要求。

（2）聚合物改性沥青

在施工中选用沥青材料时首先应满足《公路沥青路面施工技术规范（JTGF-40-2004）》中对“聚合物改性沥青技术要求”中对SBS I型（低温地区则为SBR II型）沥青的各项指标要求。

鉴于同步碎石桥面防水粘结层中SBS改性沥青的施工要求及受力特点，一般对SBS改性沥青材料的技术指标要求如表2.6所示。

表 2.4 道路石油沥青技术要求

指标	单位	等级	沥青标号																	
			160号 [4]	130号 [4]	110号			90号				70号 ^[3]				50号	30号 ^[4]			
针入度 (25°C, 5s, 100g)	dmm		140~ 200	120~ 140	100~120			80~100				60~80				40~ 60	20~ 40			
适用的气候分 区 ^[6]			注[4]	注[4]	2-1	2-2	3-2	1-1	1-2	1-3	2-2	2-3	1-3	1-4	2-2	2-3	2-4	1-4	注[4]	
针入度指数 PI ^[2]		A	-1.5~+1.0																	
		B	-1.8~+1.0																	
软化点(R&B) 不小于	°C	A	38	40	43			45		44		46		45		49		55		
		B	36	39	42			43		42		44		43		46		53		
		C	35	37	41			42				43				45		50		
60°C动力粘度 ^[2] 不小于	Pa.s	A	-	60	120			160		140		180		160		200		260		
10°C延度 ^[2] 不小于	cm	A	50	50	40			45	30	20	30	20	20	15	25	20	15	15	10	
		B	30	30	30			30	20	15	20	15	15	10	20	15	10	10	8	
15°C延度不小 于	cm	A	100														80		50	
		B	100														80		50	
		C	80	80	60			50				40				30		20		
蜡含量(蒸馏 法)不大于	%	A	2.2																	
		B	3.0																	
		C	4.5																	
闪点不小于	°C		230				245				260									
溶解度不小于	%		99.5																	
密度(15°C)	g/cm ³		实测记录																	
TFOT(或 RTFOT)后 ^[5]																				
质量变化不大 于	%		±0.8																	
残留针入度比 不小于	%	A	48	54	55			57				61				63		65		
		B	45	50	52			54				58				60		62		
		C	40	45	48			50				54				58		60		
残留延度 (10°C)不小 于	cm	A	12	12	10			8				6				4		—		
		B	10	10	8			6				4				2		—		
残留延度 (15°C)不小 于	cm	C	40	35	30			20				15				10		—		

表 2.5 聚合物改性沥青技术要求

指 标	单 位	SBS类(I类)				SBR类(II类)			EVA、PE类(III类)				试验方法
		I-A	I-B	I-C	I-D	II-A	II-B	II-C	III-A	III-B	III-C	III-D	
针入度25℃, 100g, 5s	dm m	>100	80-100	60-80	30-60	>100	80-100	60-80	>80	60-80	40-60	30-40	T 0604
针入度指数PI 不小于		-1.2	-0.8	-0.4	0	-1.0	-0.8	-0.6	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	T 0604
延度 5℃,5cm/min 不小于	cm	50	40	30	20	60	50	40	—				T 0605
软化点 $T_{R\&B}$ 不小于	℃	45	50	55	60	45	48	50	48	52	56	60	T 0606
运动粘度135℃, 不大于	Pas	3										T 0625 T 0619	
闪点不小于	℃	230				230			230				T 0611
溶解度不小于	%	99				99			—				T 0607
弹性恢复25℃不小于	%	55	60	65	75	—			—				T 0662
粘韧性不小于	N·m	—				5			—				T 0624
韧性不小于	N·m	—				2.5			—				T 0624
贮存稳定性													
离析,48h软化点差, 不大于	℃	2.5				—			无改性剂明显析出、凝聚				T 0661
TFOT(或RTFOT)后残留物													
质量变化不大于	%	1.0										T 0610 或 T 0609	
针入度比25℃不小于	%	50	55	60	65	50	55	60	50	55	58	60	T 0604
延度 5℃不小于	cm	30	25	20	15	30	20	10	—				T 0605

表 2.6 SBS 改性沥青技术要求

指标	单位	要求
针入度 25℃,100g,5s	0.1mm	60~80
软化点 TR&B	℃	≥70
动力粘度 (135℃)	Pa·s	≤3
弹性恢复 (25℃)	%	≥75
延度 (TFOT 后, 25℃)	cm	≥30
脆点	℃	<-15

(3) 乳化沥青

用于同步碎石封层的乳化沥青必须具备足够的粘度,以保证在满足单位面积洒布量的情况下,撒布石料之前不会流淌,从而保证石料在沥青膜中的嵌入深度,减少骨料的

脱落。同时,乳化沥青的破乳速度直接决定了在保证没有过多骨料脱落的情况下开放交通的时间。乳化沥青的破乳速度与乳化沥青的稳定性是相互矛盾的两个特性,这就需要在两个特性中寻求一种平衡^[26]。

美国 ASTM D 3628 规定,用于碎石封层的乳化沥青型号包括 RS-1、RS-2、HFRS-2、CRS-1、CRS-2,而美国各州的相关技术标准中多规定 CRS-2 和 HFRS-2 型乳化沥青用于碎石封层。它们的共同特点是:①它们既可以是阴离子乳化沥青,也可以是阳离子乳化沥青;②它们是快裂或中裂型乳化沥青;③它们都有 50℃赛波特粘度指标的要求。

碎石封层要求沥青结合料有一定的喷洒厚度以裹住碎石,这就需要用于碎石封层的乳化沥青有相当的粘度。美国 ASTM D 2397 规定,CRS-2 型乳化沥青 50℃赛波特粘度指标在 100~400 范围内,这要比其他用途乳化沥青的粘度高出很多。

对于改性乳化沥青,可以参照“改性乳化沥青技术要求”中对 PCR 沥青等各项质量指标的具体规定。

表 2.7 改性乳化沥青技术要求

试验项目	单位	品种及代号		试验方法	
		PCR	BCR		
破乳速度		快裂或中裂	慢裂	T0658	
粒子电荷		阳离子(+)	阳离子(+)	T0653	
筛上剩余量 (1.18mm) 不大于	%	0.1	0.1	T0652	
粘度	恩格拉粘度 E ₂₅	1~10	3~30	T0622	
	沥青标准粘度 C _{25.3}	s	8~25	T0621	
蒸发残留物	含量 不小于	%	50	60	T0651
	针入度 (100g, 25℃, 5s)	dmm	40~120	40~100	T0604
	软化点 不小于	℃	50	53	T0606
	延度 (5℃) 不小于	cm	20	20	T0605
	溶解度(三氯乙烯) 不小于	%	97.5	97.5	T0607
与矿料的粘附性, 裹覆面积 不小于		2/3	—	T0654	
贮存稳定性	1天 不大于	%	1	1	T0655
	5天 不大于	%	5	5	T0655

(4) 稀释沥青

国外经常采用掺加煤油或者粗制汽油制作成中凝型、快凝型的稀释沥青用于碎石封层。制作稀释沥青的基质沥青可选用本地区常用的沥青标号;稀释剂的类型根据开放交通要求、材料价格等条件确定;稀释剂掺量一般为基质沥青的 15%~35%。

国外碎石封层采用稀释沥青而较少使用普通石油沥青，主要是因为稀释沥青更适合用于碎石封层：①通过掺加煤油等稀释剂，可以降低沥青喷洒温度，使沥青洒布更加均匀，而普通沥青特别是聚合物改性沥青，由于粘度较大，不容易洒布均匀；②稀释剂的加入使稀释沥青非常“软”，自洒布后有相当的一段时间可供碎石撒布和碾压，而普通石油沥青在路面上洒成薄层后，其温度会迅速降低，影响与石料的粘结^[18]。

2.1.3 沥青与石料的粘附性要求

自二十世纪30年代以来，人们就相继提出了许多评定沥青与碎石粘附性的试验方法，最简单直观的就是将沥青裹覆在碎石表面，浸入水中，判断沥青从碎石表面剥落的数量，从而确定沥青的粘附等级。每一种方法都力求模拟自然和交通荷载条件下产生剥落的过程和剥落破坏的情况。由于剥落形成过程影响因素较多，机理复杂，至今尚没有一种公认的准确的试验方法。国际上通行的试验方法有：水煮法、水浸法、光电比色法、搅动水净吸附法等，然而各国根据实际情况又各有不同的规定

(1) 水煮法

水煮法是用粒径大于13.2mm的粗碎石，经150℃左右的沥青浸润，取出冷却后在沸水中煮3min，观察碎石表面沥青膜被水移动剥落的程度，分5个等级评定其粘附性。

水煮法的试验方法简单，操作方便，观察碎石表面沥青被沸水剥落的情况比较直观，可以较快地确定沥青对碎石的粘附性，因而目前无论在研究工作中还是在工程实践中，使用都比较广泛。但由于该方法评定结果受到人为因素的影响，带有一定的经验性。

(2) 水浸法

水浸法是选用粒径介于9.5. 13.2mm的粗碎石20颗，用沥青拌合成混合料，浸泡在80℃的恒温水槽中30min，然后评定沥青膜剥落面积百分率。长安大学（原西安公路交通大学）在“八五”国家科技攻关课题研究时，制作了一套不同剥落率的样本照片，评定粘附性等级时可对照照片进行，一定程度上避免了人为因素的影响。

(3) 光电比色法

由于水煮法和水浸法都是半定量的测定方法，不能得出确切的沥青膜剥落率数值，因此光电比色法被作为剥落率的定量测定方法被提出。试验通常采用721型光电分光光度计测定，染色液采用0.01 g/L的酚藏红花生物染料溶液。它的基本原理是基于物质在光的激发下，对光波长的选择性吸收，而有各自的吸收光带，当以色散后的光谱通过某一溶液时，某些波长的光线会被溶液吸收，在通过溶液的光谱中出现相应的黑暗谱带。

根据波尔(Beer)定律, 在一定的波长下, 溶液中某一种物质的浓度与光的吸收效应存在一定关系, 即有色溶液的吸光度与溶液的浓度、液层厚度成正比。光电分光光度计就是将透过溶液的光线通过光电转换器将光能转换为电能, 从指示器上读出相应的吸光度, 根据事先标定的标准曲线, 即可推算出溶液的浓度。试验时, 用规定数量的沥青混合料样品在已知浓度的染料水溶液中, 于60℃浸置2h后, 因水浸而使沥青膜剥落, 裸露的石料表面将吸附染料, 使水溶液中染料浓度下降。染料浓度的变化用分光光度计测定, 从而准确推算出沥青与碎石的粘附性。

(4) 搅动水净吸附法

该方法是美国SHRP计划推出的定量测定沥青与碎石粘附性的方法。它是基于矿料表面对沥青有吸附作用, 以及遇水后对沥青膜的置换作用, 即水使沥青膜剥落的特性, 将一定粒级的碎石放在沥青-甲苯溶液中一段时间进行循环回流, 则会有一部分沥青吸附到碎石表面, 之后, 向沥青-甲苯溶液中加入一定量的水, 让水对吸附在碎石表面的沥青进行置换。这一系列过程便会使沥青-甲苯溶液中沥青的浓度发生改变, 利用光电分光光度计测定溶液的吸光度, 即可计算出碎石对沥青的吸附剂量、加水后沥青的剥落量, 以及计算出自碎石表面剥落的沥青剥落率或吸附率。

表2.8 粗集料与沥青的粘附性技术要求

雨量气候区	潮湿区	湿润区	半干区	干旱区	实验方法
年降雨量	> 1000	1000~500	500~250	<250	
粗集料与沥青的粘附性不小于					
高速公路、一级公路表面层	5	4	4	3	T 0616
高速公路、一级公路的其它层 以及其它等级公路的各个层次	4	4	3	3	T 0663

2.1.3 地区气候对材料的要求

同步碎石封层的路用性能受沥青性能影响, 而沥青性能又受到外在环境因素的影响, 如气候因素。相关研究资料表明: 夏季高温季节行车造成的车辙是导致路面使用性能降低、损坏的最重要的原因。同时, 冬季气温骤降及反复升温降温引起的沥青路面横向开裂, 在许多寒冷地区普遍存在。

除温度因素外, 水分对同步碎石封层的性能也有重要影响。水分的渗入, 使沥青与集料的粘附性降低, 在车轮荷载的作用下, 集料产生剥离和松散破坏。

中国地处欧亚大陆东部,东临太平洋,北靠西伯利亚和北极,西部有青藏高原和帕米尔高原,是季风气候最典型、最强烈的大陆。冬季,北极和西伯利亚的冷空气长驱直入,受蒙古高压支配,又受到青藏高原及山地的阻碍,在中国北部北部积聚,使冬季非常寒冷。夏季,海洋季风盛行,太平洋暖流北上,受到高地阻挡,暴雨集中,同时气温普遍升高。因此,我国广大地区与世界同纬度地区相比,夏季炎热,冬季寒冷,年温差显著,对道路沥青材料影响大。

据研究,在冬季,寒潮大风天气使路面沥青混合料急剧收缩,是路面开裂的直接原因,蒙古高原和西伯利亚东部是强冷空气发源地,晚秋初冬开始,强大的冷空气迅速南下,一次寒流可使温度骤降 12°C ,在东北和西北大部分地区可达 14°C 以上,个别地区可超过 18°C ,寒潮往往伴有6~7级以上大风,这样的强寒潮大多数年份都有1次。

水分是影响同步碎石封层使用质量的另一个重要因素。我国降水量主要集中在夏季,降雨气流主要来自东南方的太平洋、南海和西南方的印度洋、孟加拉湾,故我国年降雨量分布呈东南多、西北少,从东南到西北递减的状态。与世界同纬度地区的年降雨量相比,在 40° 以北地区,降雨量比同纬度地区少;在 $4^{\circ}\sim 33^{\circ}$ 之间,虽然我国东部地区雨量偏多,但西部仍有不少干旱地区,西藏高原西部雨量也很少,因此平均降水量与同纬度地区相当;在 33° 以南地区,年雨量大部分地区在 $1000\sim 2000\text{mm}$ 之内,台湾许多地区超过 4000mm ,而世界同纬度地区恰正处于副热带高压带控制之下,沙漠面积大,因此我国此地区降雨量比同纬度地区显著偏多。

以一天降雨量 $\geq 0.1\text{mm}$ 的天数作为雨日数,其地理分布形势与降雨量是一致的,也是从东南向西北递减,在 $34\sim 35^{\circ}$ 以南,除西藏高原西部,年雨日数都在100天上。

另一个降水持续时间指标是年降雨时数。秦岭、淮河和青藏高原以东 35° 左右的以南地区,降雨时数在 1000h 以上,长江流域降雨时数多达 1500h 以上,在号称天无三日晴的贵州北部和川西南地区,降雨时数达 2000h 。从长江中下游向南向北降雨时数都减少,华南沿海降雨量超过 2000mm ,但多为暴雨,降雨时数还不到 1000h 。在京津地区,降雨时数甚至少于 500h 。

因此,应根据不同的气候条件,为同步碎石封层选择不同的沥青材料,以提高同步碎石封层的施工质量和持久性。

2.2 同步碎石封层典型结构

根据施工工序,可将同步碎石封层分为:单纯的同步碎石封层和与其它施工工艺配合的同步碎石封层。

单纯的同步碎石封层包括:单石单层结构、双石双层结构、逆向双石双层结构。

1) 单石单层结构:单石单层结构是最常见的碎石封层结构,在洒布了沥青的路面上撒布一层单级配碎石,一般用于不需要特殊封层修复路面病害的场合;

2) 双石双层结构:双石双层结构就是进行两次单石单层碎石封层,第二层的碎石通常是第一层碎石直径的一半,双石双层结构比单石单层结构的碎石封层噪音小,防水性能更好,强度更高,双层双石结构通常用于大交通量、长大斜坡等高应力情况;

3) 逆向双石双层结构:其与双石双层结构的差别表现在上层碎石封层的碎石的直径要大于下层,通常用于修复路面泛油和横向车辙,澳大利亚成功运用该技术修复30000ADT交通量的泛油路面。

与其它施工工艺配合的同步碎石封层包括:开普封层结构、嵌入式结构、土工布加强结构和三明治结构。

4) 开普封层结构:开普封层是南非发明的碎石封层技术,在碎石封层的表面加铺稀浆封层,开普封层的强度较高,抗剪能力与沥青混凝土相似;

5) 嵌入式结构:嵌入式结构就是在单石单层结构的基础上临时撒布一层嵌空的碎石保护单石单层的碎石封层,防止碎石在沥青凝固以前脱落,嵌入式结构多用于车辆转弯较多的地方;

6) 土工布加强结构:在粘层上面铺设土工布,然后再做同步碎石封层,通常用于路面氧化或热裂缝严重的场合。

7) 三明治结构:在两层碎石之间撒布一层沥青,通常用于修复路面松散。

典型施工案例:单石单层结构与双石双层结构

安徽省合铜公路K48+700~K49+600段(路面无纵横裂缝、抗滑系数低)采用了单层单石结构:乳化沥青洒布量为 $1.4\text{kg}/\text{m}^2$ (乳化沥青固含量66.5%),2#石料覆盖率为110%;K59+000~+100段路面(抗滑系数低、网裂众多)采用了双石双层结构:下层沥青洒布量为 $1.2\text{kg}/\text{m}^2$,2#石料覆盖率为90%;上层洒布乳化沥青量为 $1.0\text{kg}/\text{m}^2$,3#石料覆盖率为100%;K59+100~+200段也采用了双石双层结构:下层乳化沥青量为 $1.2\text{kg}/\text{m}^2$,2#石料覆盖率为90%;上层沥青洒布量 $0.9\text{kg}/\text{m}^2$,3#石料覆盖率为80%。

2.3 同步碎石封层对设备的基本功能要求

(1) 清扫设备

清扫设备主要进行同步碎石封层前路面杂物、灰尘的清扫和开放交通前同步碎石封层面浮石的清扫。清扫设备清扫后的路面，不存在影响沥青和路面的粘结力灰尘；清扫设备清扫后的同步碎石封层面，不存在影响行车安全的浮石，且清扫过程中不能破坏沥青与碎石已粘结的同步碎石封层。

(2) 同步碎石封层车

同步碎石封层车完成同步碎石封层作业过程中的沥青和碎石的同步洒（撒）布。沥青、碎石的洒（撒）布量、洒（撒）布精度，以及沥青与碎石的粘结温度控制在许可的范围。

表2.9 沥青和碎石洒（撒）布量

沥青种类	类型	厚度 (mm)	集料 (m ³ /1000m ²)						沥青或乳液用量 (kg/m ²)			
			第一层		第二层		第三层		第一次	第二次	第三次	合计用量
			规格	用量	规格	用量	规格	用量				
石油沥青	单层	1.0	S12	7~9				1.0~1.2			1.0~1.2	
		1.5	S10	12~14				1.4~1.6			1.4~1.6	
	双层	1.5	S10	12~14	S12	7~8			1.4~1.6	1.0~1.2	2.4~2.8	
		2.0	S9	16~18	S12	7~8			1.6~1.8	1.0~1.2	2.6~3.0	
		2.5	S8	18~20	S12	7~8			1.8~2.0	1.0~1.2	2.8~3.2	
	三层	2.5	S8	18~20	S12	12~14	S12	7~8	1.6~1.8	1.2~1.4	1.0~1.2	3.8~4.4
3.0		S6	20~22	S12	12~14	S12	7~8	1.8~2.0	1.2~1.4	1.0~1.2	4.0~4.6	
乳化沥青	单层	0.5	S14	7~9				0.9~1.0			0.9~1.0	
	双层	1.0	S12	9~11	S14	4~6		1.8~2.0	1.0~1.2		2.8~3.2	
	三层	3.0	S6	20~22	S10	9~11	S12 4~6 S14 3.5~4.5	2.0~2.2	1.8~2.0	1.0~1.2	4.8~5.4	

(3) 压实设备

压实设备是在同步碎石封层车洒（撒）布完沥青和碎石后，及时进行碾压，保证碎石在沥青中有足够的嵌入深度，而不压碎碎石。一般选用轮胎压路机。

第三章 同步碎石封层施工设备与组配

3.1 同步碎石封层车

3.1.1 同步碎石封层车分类

3.1.1.1 同步碎石封层车国外研究现状

1985年, SECMAIR (Cossele Vivien, FR) 公司的 Chambard, Pierre (Saint-Marcellin, FR) 发明了同步碎石封层工艺与设备, 2001年2月, SECMAIR 公司在美国申请了同步碎石封层技术与设备的专利——《Method and vehicle for pavement surface dressing》(US6918714) [33]。

2001年6月, E.D. Etnyre & Co.的 Barnat, James J. (Wichita, KS, US) 等人, 在众多相关专利技术的基础上, 发明了采用专用供料车的同步碎石封层技术和设备——《Roadway paving system and method including roadway paving vehicle and supply truck》(US6805516) [34]; 2002年 Barnat, James J.等人又发明了用于同步碎石封层的专用运料卡车——《Roadway paving supply truck》(US6776557) [35]。

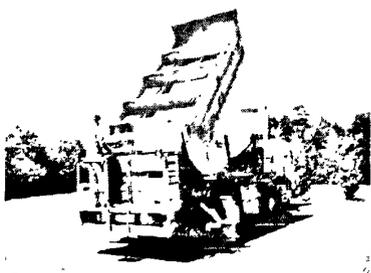
国外著名的同步碎石封层车的制造厂家主要有: 法国赛格玛公司 (SECMAIR)、德国法亚百灵公司 (FAYAT BREINING)、德国 Schäfer-technic 公司等。

赛格玛公司生产有 Chipsealer 系列 30、40、41 等多个型号的同步碎石封层车和凯撒路霸——连续型同步碎石封层机, 是牵引式和举升料斗式同步碎石封层车的代表, “凯撒路霸”连续型同步碎石封层车还是目前唯一一款具有连续作业能力的同步碎石封层车。在赛格玛公司新的分类中, 同步碎石封层车分为车载式和牵引式两个大类、15个型号。

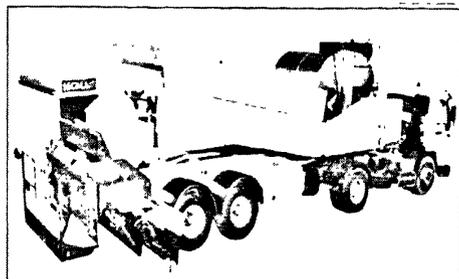
赛格玛公司数字导航系统 (The digital-age piloting system) 能够有效提高碎石封层的施工质量和节约建设资金: 以前, 同步碎石封层车的司机在驾驶机器的同时, 必须盯着路面, 决定需要进行碎石封层的路段并通过开关发出操作指令, 这就要求司机必须精神高度集中, 操作熟练、灵活, 自然也就容易疲劳; 新的数字导航系统应用以后, 司机可以通过驾驶室里的屏幕进行作业监控, 通过手柄发出操作指令, 操作强度降低, 能够集中精力于机器的操作, 且控制精度更高; 后操作台无需操作人员, 节省了机器空间, 提高了机器操作安全性, 节约同步碎石封层成本。

碎石撒布量控制系统 (GRAVIDOS) 可以完全取代人工操作, 并能对碎石撒布量进

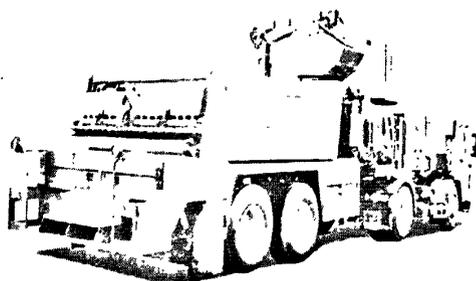
行精确控制，减少碎石的飞溅，节约碎石 10~15%：GRAVIDOS 系统能够根据碎石的设计撒布量、级配、状态（干燥、潮湿、是否水洗）、车速、料斗和路面的倾斜角度对碎石撒布量进行控制。该系统还可以移植于不同厂家的采用液压控制的碎石撒布系统中。



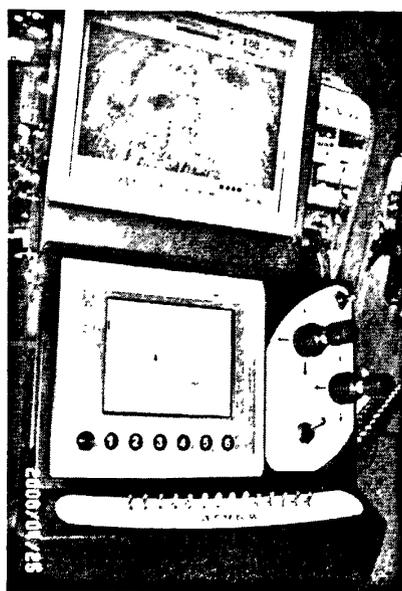
前顶举料斗式 Chipsealer 40



后顶举料斗皮带输料 Chipsealer 41

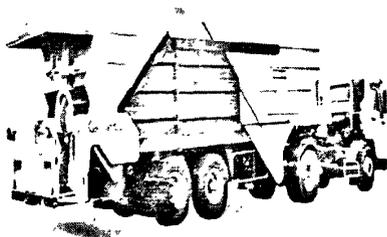


带上料斗式



控制系统

The digital-age piloting system



“凯撒路霸”连续式



连续式同步碎石封层车作业

图 3.1 SECMAIR 公司同步碎石封层车

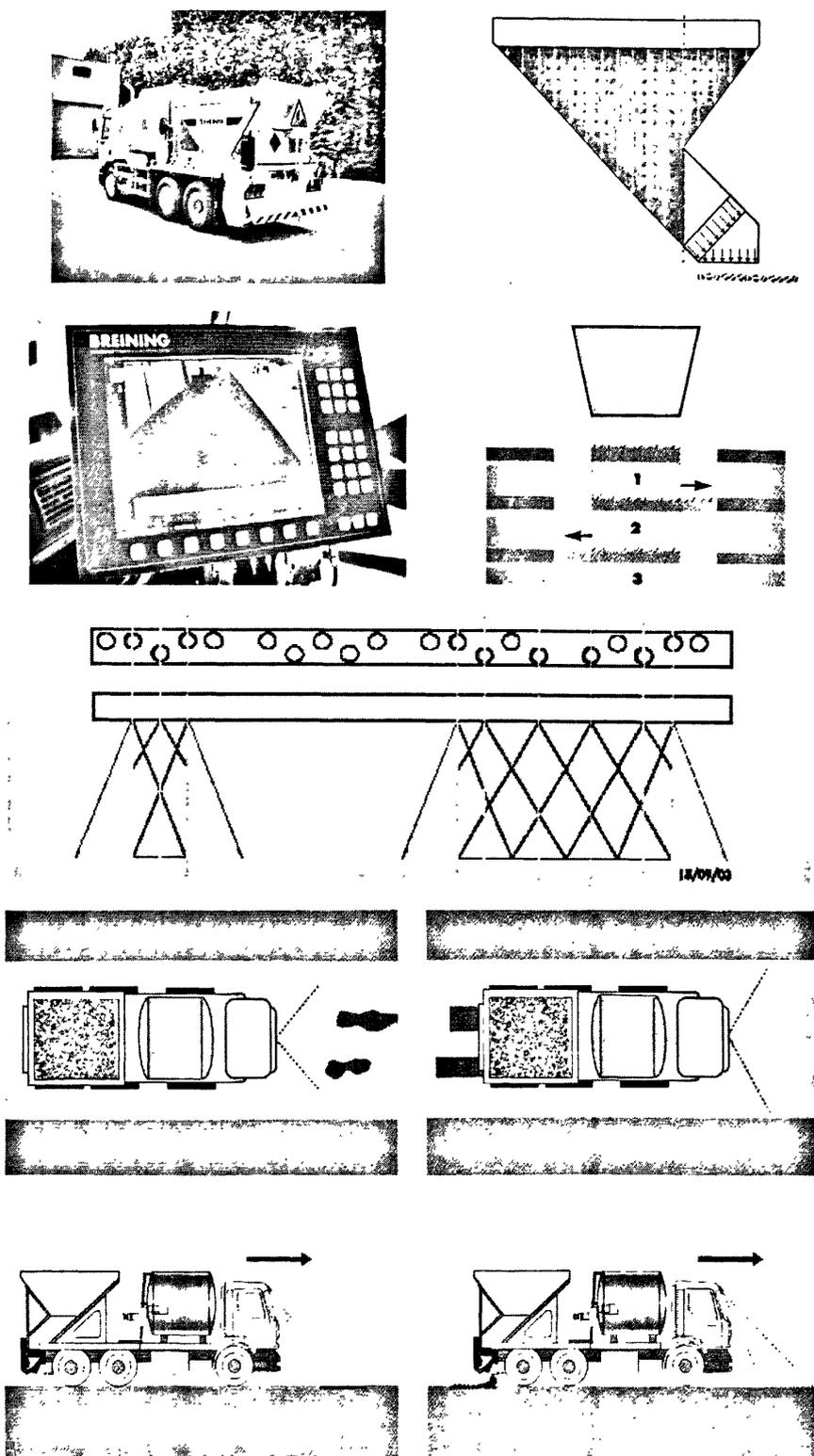


图 3.2 FAYAT Breining Viasealer 同步碎石封层车

FAYAT 公司的同步碎石封层车是车载式和固定料斗式同步碎石封层车的代表：固定式料斗碎石落料角度恒定，碎石撒布量易于控制；旋转式计量棒可调整石屑的提取高度，

流量与卡车速度成正比；采用双排喷嘴实现沥青的三重叠洒布，可优化洒布质量（横向误差 $<3\%$ ）；Videoview 图像监控管理系统将路面宽度在显示器上分成 8 部分，通过图像确定需要处理的路面，操作者可在驾驶室内控制物料的洒（撒）布，安全性和舒适性进一步提高。

3.1.1.2 同步碎石封层车国内研究现状

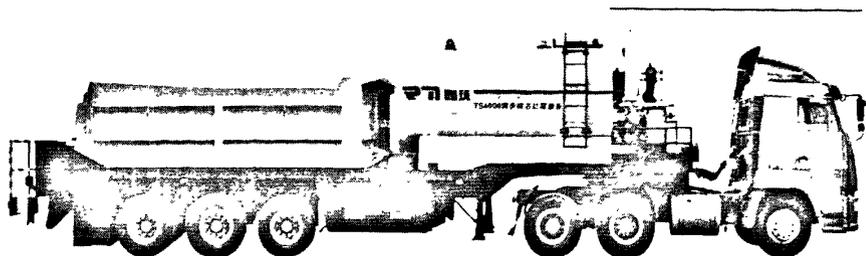
2002 年，我国辽宁省沈阳三鑫公司，首先从法国引进了同步碎石封层技术和第一台同步碎石封层车。其后，同步碎石封层技术在我国高等级公路下封层施工中得到广泛使用，在辽宁、湖南、安徽、吉林、河南、广西等地，也进行了用碎石封层进行路面罩面施工的尝试，总的来说：同步碎石封层的应用主要还集中在技术要求相对较低的下封层施工。

国内对同步碎石封层相关技术的研究主要集中在同步碎石封层的应用和施工设计，以埃蒙泰中国代表处、地方公路建设与养护部门为代表^[15-32]。

长安大学工程机械学院焦生杰教授领导的课题组在陕西省交通科技项目（04-06K）“高等级公路同步碎石封层成套设备与施工技术研究”的资助下，与中交西安筑路机械有限公司、杭州美通公司合作，结合项目组多年从事沥青洒布车技术研究经验，对同步碎石封层车的总体方案、沥青喷洒系统匹配、液压驱动系统动力学特性、控制系统和施工工艺等进行了系统研究^[36-52]；2007 年 7 月，刘士杰等对同步碎石封层车的典型液压系统进行了研究，提出了同步碎石封层车的液压系统方案；高子渝等对同步碎石封层车的控制系统进行了研究，研制了基于 Intel 196KC 的同步碎石封层车控制系统；2007 年 3 月张新荣等对同步碎石封层车控制系统中的人机交互技术进行了研究，实现了基于 Modbus 的同步碎石封层车控制系统通讯；2008 年 5 月，李国柱等对同步碎石封层车作业速度对作业质量的影响进行了研究，提出了同步碎石封层车的最佳作业速度范围。2005 年河南省高远公路养护设备有限公司发明了一体式的同步碎石封层机^[53]；2006 年河南省高远公路养护设备有限公司发明了不举升料斗的同步碎石封层机^[54]；2007 年邢昌友等发明了拖式同步碎石封层机^[55]。

沥青喷洒是同步碎石封层车的重要环节，国内对于此项技术主要参考沥青洒布车的经验。国内对沥青喷洒技术的研究主要包括：西安达刚李太杰对沥青洒布车洒布质量的控制进行了研究，提出了基于置信度的沥青洒布精度评价方法^[56-57]；长沙中联重科尹友中从沥青喷洒杆设计的角度对沥青洒布横向均匀性问题进行了研究^[58]；长安大学康敬东

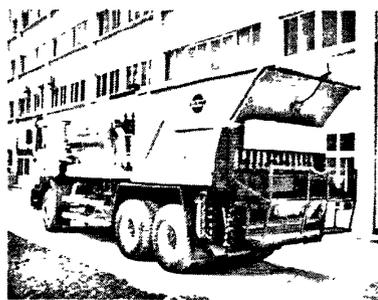
研究了沥青喷洒杆结构参数对沥青洒布横向均匀性的影响^[59]；开封市政工程机械厂杨春来对多功能沥青喷头结构的性能进行了研究^[60]；郴州筑路机械厂余林对沥青洒布车的发动机功率平衡问题进行了研究^[61]；余世诚对沥青洒布车的性能指标评价进行了分析^[62]；锦州筑路机械厂傅小威对沥青洒布车的三层搭界洒布和底盘选型问题进行了研究^[63]；成都市政梁仲诚对影响沥青洒布层均匀性的因素进行了研究^[64]；郴州筑路机械厂李炯对车速误差对沥青洒布精度的影响进行了研究^[65-67]；郴州筑路机械厂樊元清等对沥青喷嘴的喷洒性能进行了研究^[68]等。



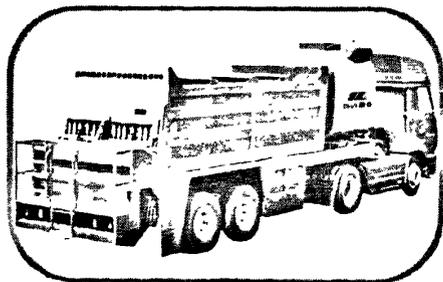
西筑 TS4000 型同步碎石封层车



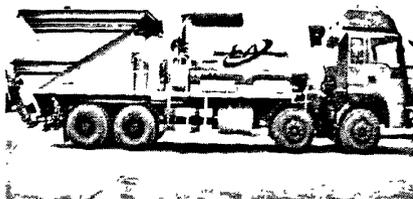
美通 LMT5310TFC 型同步碎石封层车



达刚 TBS3500B 型同步碎石封层车



高远 GYKT0616A 型同步碎石封层车



欧亚 CB838 型同步碎石封层车

图 3.3 国产同步碎石封层车

瞄准国内同步碎石封层市场，许多从事公路养护的部门纷纷从国外引进同步碎石封层车，国内很多的筑养护机械制造企业也开始从事同步碎石封层产品的开发，推向市场的同步碎石封层车有：西安筑路机械有限公司的 TS4000 型同步碎石封层车、西安达刚

的 TBS3500B 型同步碎石封层车、杭州美通的 LMT5310TFC 型同步碎石封层车、欧亚机械的联合洒布车、河南高远的 GYKT0616A 型同步碎石封层车、欧亚 CB838 型同步碎石封层车、河南新友的 XY5250TSF 型同步碎石封层车等，但这些设备的设计开发大多还停留在仿制的层面，机器的作业性能与国际先进水平还存在较大的差距。

3.1.2 同步碎石封层车结构和工作原理

3.1.2.1 沥青喷洒系统

沥青洒布系统组成包括：沥青罐、过滤器、沥青泵、组合阀、沥青喷洒杆和沥青喷嘴。沥青洒布作业过程中，通过控制组合阀上四只气缸的启闭，控制沥青流向，完成沥青的循环控制。

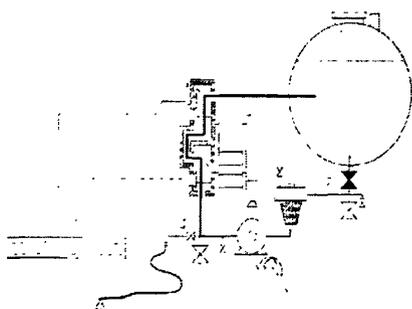


图 3.4 沥青小循环原理图

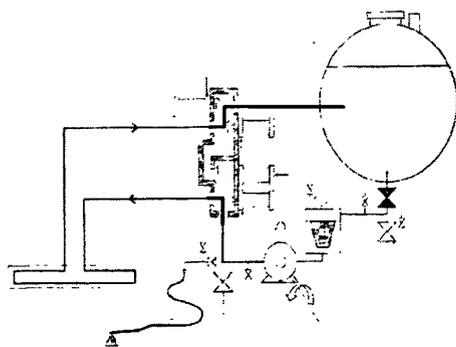


图 3.5 沥青大循环原理图



图 3.6 沥青喷洒原理图

(1) 小循环

沥青泵以固定转速工作，从沥青罐吸出的沥青经组合阀后，直接回到沥青罐内。小循环在对沥青进行加热升温时，搅拌沥青，使沥青加热均匀，防止局部过热、老化；在洒布稀释沥青时，使沥青与稀释剂混合均匀；同步碎石封层车在运输、装料以及之间的等待过程中，都需要进行小循环作业，使沥青在沥青罐内保持循环状态。小循环时间占整个作业过程的 80% 以上。

(2) 大循环

沥青泵以固定转速工作，从沥青罐吸出的沥青经组合阀后，流入沥青喷洒杆，再经过组合阀回到沥青罐内。沥青大循环用于预热沥青喷洒杆，防止沥青在喷洒管道内降温，粘度上升，堵塞喷嘴，不能正常喷洒；沥青大循环的质量还直接关系到沥青起步喷洒质量。

(3) 喷洒（清洗）

沥青泵从沥青罐吸出的沥青经组合阀后，通过沥青喷洒杆直接喷出，不再返回沥青罐。喷洒循环是最重要的循环，在此循环中，需要对沥青泵的转速进行调节，以确保车速变化时，沥青洒布量不发生改变。

沥青洒布量方程如式 3.1 所示：

$$\lambda = \frac{n_A q_A \eta_{vA}}{v_c B} \times 10^3 \quad (3.1)$$

式中： λ ——沥青洒布量， L/m^2 ； n_A ——沥青泵转速， r/s ； q_A ——沥青泵排量， m^3/r ； η_{vA} ——沥青泵的容积效率； v_c ——车速， m/s ； B ——洒布宽度， m 。

3.1.2.2 碎石撒布系统

同步碎石封层的主要特点就是利用一台设备，同时进行沥青洒布和碎石撒布作业，两者的作业时差不超过 1s，这就要求碎石布料和沥青洒布具有相同的作业宽度。国外研究表明，采用碎石封层进行路面养护时，车道范围内轮胎碾压较多的地方需要洒布较少的沥青，防止泛油，而车道分界线和车道中央部分等车轮碾压较少的地方要洒布较多的沥青，以抵挡雪犁的破坏，防止脱粒。通常做法是将碎石封层的接缝设置在车道分界线或车道中央的位置。

中国道路建设中，主干道和高等级公路的小型车车道宽度一般为 3.5m，大型车车道或混合车道宽度为 3.75m，部分高速路机动车道宽度为 4m，而一般车辆的宽度不超过 2.5m。因此，要进行同步碎石封层作业，存在一个采用 2.5m 宽度料箱、实现 3.75m 以上宽度碎石撒布的变宽幅撒布技术难题。目前，中国大多数厂家的碎石布料器的撒布技术还停留在 3m 水平附近，能够掌握 4m 宽度碎石撒布技术的厂家为数不多。

碎石布料器的施工工艺要求较高，不仅要使碎石撒布均匀，同时能有效地控制碎石的撒布飞溅。常见型式有：①分隔型平整布料器；②分隔型曲面布料器；③光滑型平整布料器；④光滑型曲面布料器。

光滑型平整布料器结构最简单，布料宽度与料箱宽度一致，不能够进行大宽度布料；

光滑型曲面布料器结构简单，但碎石布料的均匀性差，要提高布料均匀性，必须严格控制布料器的曲面形状参数，其制造成本会加大，而且很难达到理想的布料宽度；分隔型平整布料器是目前国内使用最多的碎石布料器型式，由于有导料槽，能够增加布料宽度，但由于结构尺寸的限制，能够实现的布料宽度有限；分隔型曲面布料器是在大布料宽度情况下，仍能实现均匀撒布的唯一结构型式。



图 3.7 分隔型曲面碎石布料器实物图

3.1.2.3 液压系统

同步碎石封层车的液压执行机构包括：沥青泵驱动液压马达、导热油泵驱动液压马达、布料辊驱动液压马达、石料斗举升油缸（仅限于料斗举升式同步碎石封层车）、石料斗料门开度调节油缸、车身调平油缸、沥青喷洒杆伸展马达、沥青喷洒杆提升油缸和沥青喷洒杆侧移油缸等。

同步碎石封层作业过程中，沥青泵、导热油泵和布料辊持续运转，其它主要液压执行机构只在作业开始前和作业结束后作相应的调整：

1) 沥青泵驱动液压马达的转速需要根据施工工艺要求实时调节。沥青泵为定量泵，通常选用定量液压马达驱动，调节流经液压马达的液压油流量对液压马达转速进行控制，沥青泵驱动液压马达的转速调节范围较宽，最高转速和最低转速的速比超过 200；在喷嘴开启数量一定的情况下，沥青泵的出口压力随着沥青泵转速的增加而增加，与之相对应，沥青泵驱动液压马达的工作压力也增加；

2) 导热油泵驱动液压马达在进行热沥青同步碎石封层或其它需要加热、保温的同步碎石封层作业时驱动导热油泵，使高温的导热油在管路中循环，加热沥青罐、沥青循环管道和沥青喷洒杆等，将沥青温度控制在适合于喷洒的范围内；导热油泵驱动液压马达的转速在工作过程中不发生改变，转速精度要求低；

3) 布料辊驱动液压马达的转速，在试验段调节好以后，除非施工参数发生变化，

在整个作业过程中不进行调节；布料辊以恒定的转速，将石料均匀的撒布到布料器上，通过布料器均匀撒布到道路表面；撒布不同的石料时，一般需要采用不同的布料辊转速；随着科学技术的进步，同步碎石封层车亦开始采用变布料辊转速的方式调整碎石撒布量，提高碎石的撒布精度，这也要求布料辊驱动马达的转速能够进行实时调节。

法国赛格玛公司 Cipsealer 40 通用型同步碎石封层车所采用的液压系统是我国众多同步碎石封层车液压系统设计的蓝本，如图 3.8 所示。

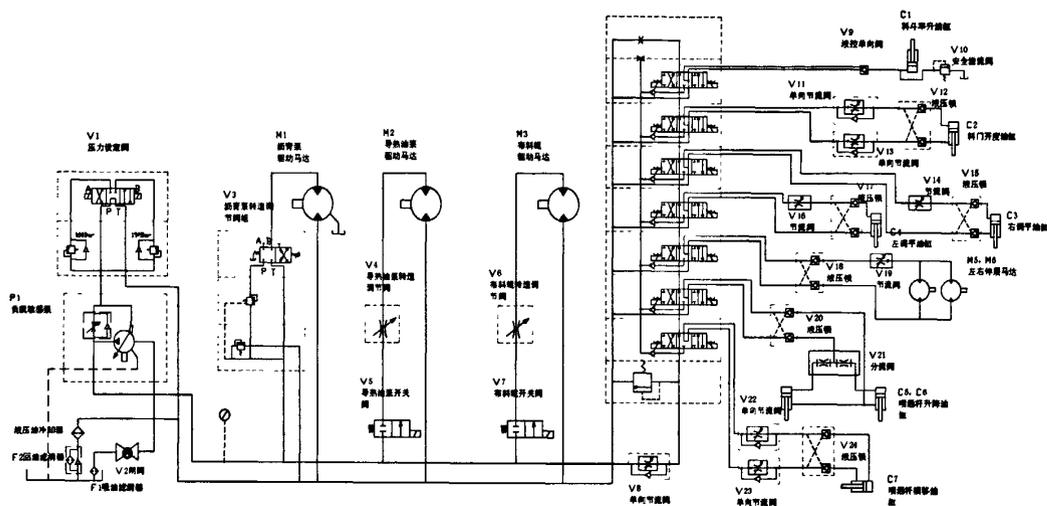


图 3.8 同步碎石封层车液压系统原理图

SECMAIR 公司 Chipsealer 40 通用型同步碎石封层车工作装置液压系统的主要特点包括：

1) 液压系统动力由独立的工作装置发动机提供，发动机功率有足够的冗余，整个工作过程中转速几乎不发生变化，且工作装置液压泵的转速与牵引车发动机转速变化，即牵引车车速变化无关；

2) 所有的液压执行机构采用并联的方式与液压泵连接，除沥青泵驱动液压马达外，其它马达的流量需求小且工作中转速不发生变化；

3) 选用负载敏感泵作为液压动力源，但是在该系统中负载敏感泵以恒压泵的方式工作，通过远程调压阀设定液压泵的工作压力（工作压力设定值为 100bar）；液压泵自动变量，始终只提供系统需要的流量，确保液压泵的出口压力在设定值；液压泵的供油压力另可设为 150bar，以获得较大驱动力，用于快速顶起料斗油缸；

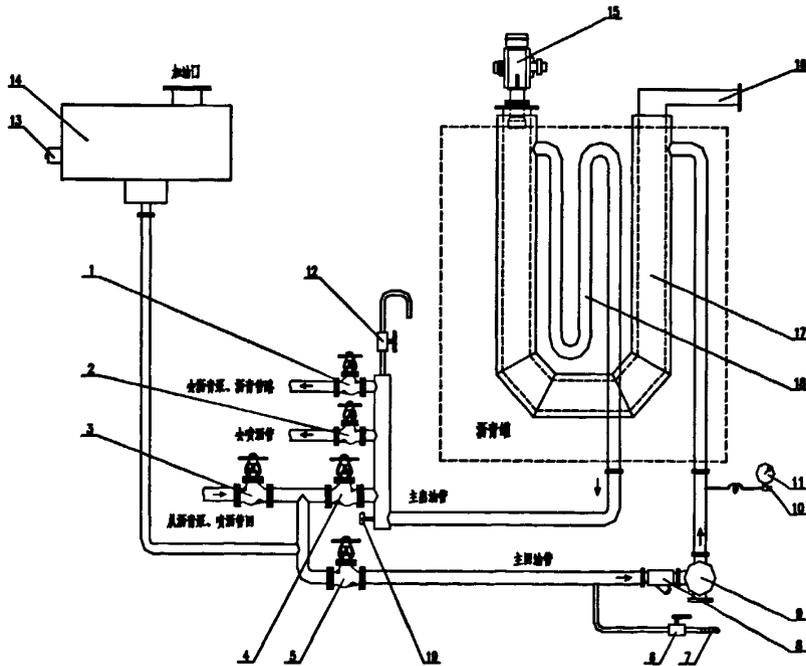
4) 由于液压泵的出口压力自动调节且恒定，负载变化小、精度要求相对较低的导热油泵驱动液压马达和布料辊驱动液压马达的转速调节通过普通节流阀进行调节，通过

两位两通开关阀控制液压马达的启停；负载变化较大、精度要求高的沥青泵驱动液压马达的转速调节阀的两端增设压力补偿装置（又称调速阀），减小压力波动对沥青泵驱动液压马达转速的影响，提高沥青泵驱动液压马达转速的控制精度，转速调节阀采用电比例控制方式，与控制系统相结合对沥青泵驱动液压马达的转速进行实时控制，当转速调节阀节流口完全关闭时，可以切断沥青泵驱动液压马达的供油，关停沥青泵驱动液压马达，无需另设开关阀；其它执行元件的动作和调速通过手动控制的三位四通阀来完成。

3.1.2.4 导热油加热系统

沥青温度控制是沥青洒布量控制的重要环节，研究表明：沥青的粘度会影响沥青泵的计量精度和沥青喷嘴的喷洒扇面形状，要保持高的沥青洒布精度，必须将沥青粘度控制在设定值，热熔式沥青的粘度控制是通过控制沥青的温度来实现的。

图示是沥青导热油加热系统原理图，通过控制喷燃器的启停，控制导热油的温度，导热油泵持续运转，使热的导热油在管路内循环，加热沥青；沥青泵持续运转，使沥青以小循环状态在罐内流动，使得沥青温度均匀且保持在试验所确定的温度值。



- 1.热油阀 1; 2.热油阀 2; 3.热油阀 3; 4.热油阀 4; 5.热油阀 5; 6.吸油阀; 7.吸油管;
 8.脏物过滤器; 9.热油泵; 10.压力表开关; 11.压力表; 12.放气阀; 13.浮球液位控制器;
 14.膨胀箱; 15.柴油燃烧器; 16.排烟管; 17.U 型火管; 18.导热油管组; 19.热油温度计

图 3.9 导热油加热系统

3.1.2.5 控制系统

同步碎石封层车控制系统属于功能多、结构复杂的多输入多输出系统。具有洒布量随车速变化自动调节，温度、速度信号采集，工作状态监测、显示等功能：

(1) 能够协调整机按工艺流程及工作程序工作，完成“手动/自动”、“大循环/小循环/喷洒”的切换；

(2) 实现沥青喷洒量和碎石撒布量的自动调节。喷洒量能随车速及喷洒宽度的变化自动调节；石料撒布能够根据车速的变化进行实时调节；

(3) 沥青温度和导热油温度的自动控制。将沥青温度控制在设定范围内，并对导热油的温度上限进行限制；

(4) 能够通过键盘设定作业参数，人机界面简单直观，能够显示工作状态参数、故障警告信息等；

(5) 具有自保护功能，误操作时能报警，对工作过程中的异常情况能反馈报警信息。在发生意外事件时，系统能自动复位。

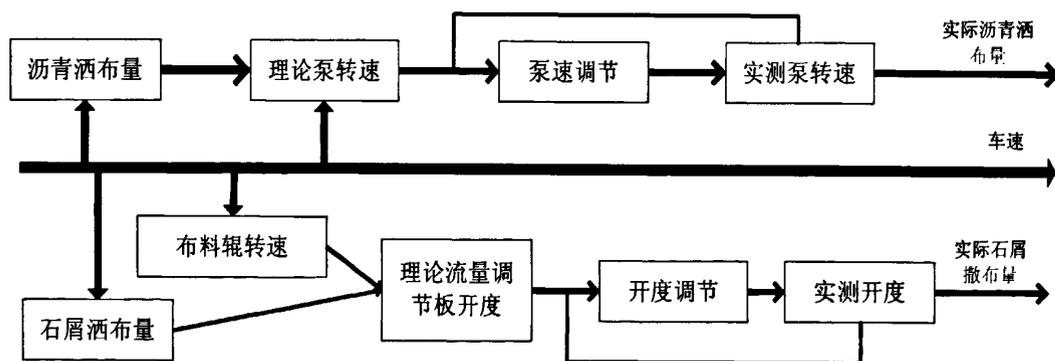


图 3.10 控制系统控制框图

3.2 同步碎石封层设备选型与组配

3.2.1 基于生产率和成本的同步碎石封层车选型研究

国内外同步碎石封层车在国内工程施工中均有采用，但作业宽度、沥青罐和碎石料箱容积不尽相同。同步碎石封层车选型就是如何根据作业工况的需要，合理选择作业参数，以获得生产率和成本的最佳组合。

同步碎石封层车通常的作业循环为：

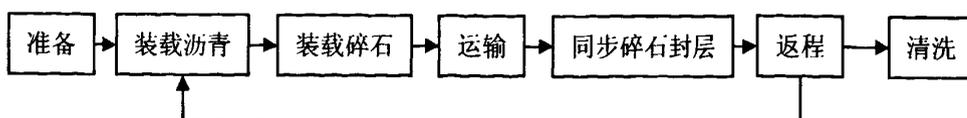


图 3.11 同步碎石封层车的作业循环

同步碎石封层一个作业循环所需要的时间 t ：

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad (3.2)$$

式中： t_1 ——装载沥青的时间；

t_2 ——装载碎石的时间；

t_3 ——同步碎石封层车满载运输时间， $t_3 = l/v_c$ ，其中： l ——平均运输距离， v_c ——同步碎石封层车运输速度；

t_4 ——同步碎石封层作业时间， $t_4 = \frac{V_a}{v_a B_a \lambda_a}$ ，其中： V_a ——碎石料仓容积， v_a ——

同步碎石封层作业速度， B_a ——同步碎石封层作业宽度， λ_a ——碎石撒布量；

t_5 ——同步碎石封层车空载返程时间。

单位面积同步碎石封层作业时间为：

$$t' = t / s_a \quad (3.3)$$

其中： s_a ——时间 t 内同步碎石封层车的作业面积。

同步碎石封层车的运输成本：

$$f_1(l) = k_1 \times l \quad (3.4)$$

式中： k_1 ——单位距离的运输成本。

同步碎石封层车的保温成本：

$$f_2(t, V_A) = k_2 \times \frac{t}{2} \times V_A \quad (3.5)$$

式中： k_2 ——单位时间、体积沥青的加热保温成本； V_A ——撒布一车碎石所需要的沥青体积。

$$V_A = \lambda_A \times s_a \text{ 即 } V_A / V_a = \lambda_A / \lambda_a \quad (3.6)$$

同步碎石封层车的沥青罐的容积通常较大，即正常作业工况下，一罐沥青能够洒布的面积 s_A 通常是一车碎石撒布面积 s_a 的 n 倍，会增加同步碎石封层车带载返程的费用和沥青保温的费用。此时，单位面积的作业成本：

$$f(s) = \frac{1}{s_a} \times (f_1(l) + f_2(t, V_A)) = \frac{1}{s_a} \times (k_1 \times l + \frac{(n-1)!}{n} \times k_2 \times \frac{t}{2} \times V_A) \quad (3.7)$$

实践表明：同步碎石封层作业过程中，料场和施工地点之间的距离是影响同步碎石封层车作业效率和成本的主要因素。

同步碎石封层车选型的一般原则：

1) 同步碎石封层车作业宽度。同步碎石封层作业中，应尽可能减少纵向接缝，因此，同步碎石封层车应具备较大的宽度；同步碎石封层车应尽可能在最大宽度作业（同步碎石封层车的设计原理也要求同步碎石封层车尽可能在最大宽度进行作业）。

2) 同步碎石封层车沥青罐和碎石料箱容积的选取应视料场与施工地点的之间的施工道路的通行状况选取。在确保同步碎石封层车能够在料场和施工地点之间自由转场的情况下，沥青罐和料箱的容积应尽可能大，减少同步碎石封层车往来料场与施工地点之间的次数，同时减少同步碎石封层的横向接缝。

3) 同步碎石封层车的沥青罐和碎石料箱的容积比例应符合同步碎石封层施工洒（撒）布量的要求，以避免同步碎石封层带载回程（沥青或碎石剩余）。沥青罐的容积与碎石料箱的容积比例应与沥青洒布量和碎石撒布量的比值相等或接近。为了满足同步碎石封层车作为沥青洒布车使用的需要，同步碎石封层车沥青罐的容积通常较大，在无法满足沥青罐的容积与碎石料箱的容积最佳比例的情况下，可以考虑沥青与碎石的装载量接近。

4) 特殊场合下，可以考虑采用能够进行现场上料的同步碎石封层车进行施工，提高同步碎石封层作业速度，降低作业成本。

3.2.2 同步碎石封层施工设备组合

同步碎石封层车是同步碎石封层施工的主导设备，施工过程中还需其他设备辅助，典型的同步碎石封层施工设备组合包括：

1) 同步碎石封层车：同步碎石封层车是同步碎石封层作业的主导设备，参数选型综合考虑施工的速度和成本后决定（由于同步碎石封层车施工速度较快，通常只采用单台设备进行同步碎石封层作业）。

2) 装载机：装载机主要是在料场给同步封层车的碎石料箱装载碎石，为了提高碎石装载速度，装载机通常选用 50 以上型 1 台。

3) 轮胎压路机：轮胎压路机用来碾压封层面，增加碎石与沥青结合程度，轮胎压

路机通常选用 10-20t 级。压路机的数量由同步碎石封层车的生产率、压路机生产率、有效压实时间（同步封层后沥青温度冷却至最低压实温度或乳化沥青破乳所需的时间）等决定。有效压实时间在同步碎石封层初期经观察、测试和试验得出，压路机生产率 Q_r ，由下式计算：

$$Q_r = \frac{60(b_1 - b_2)K_B}{\left(\frac{L}{v} + t\right)n} \quad (3.8)$$

式中： b_1 ——一次碾压宽度，m；

b_2 ——相邻两碾压带重叠宽度， $b_2=0.15\sim 0.25\text{m}$ ；

L ——碾压路段的长度，m；

K_B ——时间利用系数， $K_B=0.8\sim 0.9$ ；

v ——压路机作业速度，m/min；

n ——同一地点碾压遍数；

t ——换向、换档时间， $t=0.07\sim 0.08\text{min}$ 。

4) 沥青保温罐车：同步碎石封层的施工地点，不可能一直在沥青厂（站）附近，采用同步碎石封层车远程运输沥青是不经济的，通常选用 1 台沥青保温罐车运输沥青，沥青罐车沥青罐的容积一般为 25~40 t，在料场另备沥青储罐，保存沥青，储罐容积视沥青罐车的运输距离和同步碎石封层施工的沥青消耗速度决定，一般要大于沥青罐车沥青罐的容积。

5) 碎石运料车。同沥青运输一样，也不宜采用同步碎石封层车直接运输碎石。通常采用碎石运输车运输碎石。碎石运料车的配置数量要保证筛分清洗设备及同步碎石封层车连续生产，不能使车辆因工地卸料和等待时间过长而造成浪费。

运输车辆的数量 n 由下式计算：

$$n = a(t_1 + t_2 + t_3) / T \quad (3.9)$$

式中： a ——储备系数，视交通情况而定，一般取 $a = 1.1\sim 1.2$ ；

t_1 ——重载运程时间，min；

t_2 ——空返运程时间，min；

t_3 ——整个循环中的等待总时间，min；

T ——同步碎石封层车撒布一车料时间，min；

料场储料面积较大时，可提前备料，减少运输车辆的数量。

6) 必要时，需配备石料(加工)清洗设备。因为难以购到干净、规格一致的可直接用于同步碎石封层的碎石，所以一般需要在料场准备石料(加工)清洗设备，对购置的碎石进行清洗与筛分。

石料(加工)清洗设备的加工能力应与同步碎石封层车的碎石撒布能力一致，考虑到购置的碎石中有效成分的差异，石料(加工)清洗设备的加工能力应有一定的冗余。

石料(加工)清洗设备的生产能力可由下式得出：

$$Q_B = \frac{SH}{TKt} \quad (3.10)$$

式中： Q_B ——石料(加工)清洗设备的生产能力，t/h；

S ——同步碎石封层的面积， m^2 ；

H ——碎石撒布量， kg/m^2 ；

T ——计划作业天数，天；

K ——开工日系数， $K = \text{工期中可能工作的天数} / \text{计划日历天数}$ ；

t ——每日实际运转时间，h。

7) 洒水车：同步碎石封层进行前，一般需要洒布透层油或粘层油（可采用同步碎石封层车洒布），为了保证透层油或粘层油的洒布质量，需要保持路面湿润，因此要采用洒水车洒水。

8) 其它小型设备及现场试验设备。如：清扫车、吹风机（吹净浮尘）等。单位时间作业能力要大于同步碎石封层的作业能力。

3.2.2 同步碎石封层施工设备配置案例

1、湖南高速公路下封层施工

1) 同步碎石封层车一台：常张高速采用 40 通用型，邵怀高速采用 40 通用型和 41 通用型。

2) 50 装载机 1 台。

3) 16~20t 轮胎压路机 1~2 台。

4) 25~40t 沥青运输罐车 1 台。

5) 15t 以上碎石运料车若干台。

6) 石料加工设备 1 台。

7) 6000L 以上洒水车 1 台。

8) 其他小型设备及现场试验设备。

2、瑞赣高速公路桥面防水层施工

同步碎石封层机 1 台。

1) 16t 以上轮胎压路机 1 台。

2) 洒水车 1 台。

3) 森林灭火器 3~4 台。

4) 机械钢丝刷 1 台。

5) 清扫车 1 台。

第四章 同步碎石封层施工工艺

同步碎石封层的施工工艺体系如图 4.1 所示。

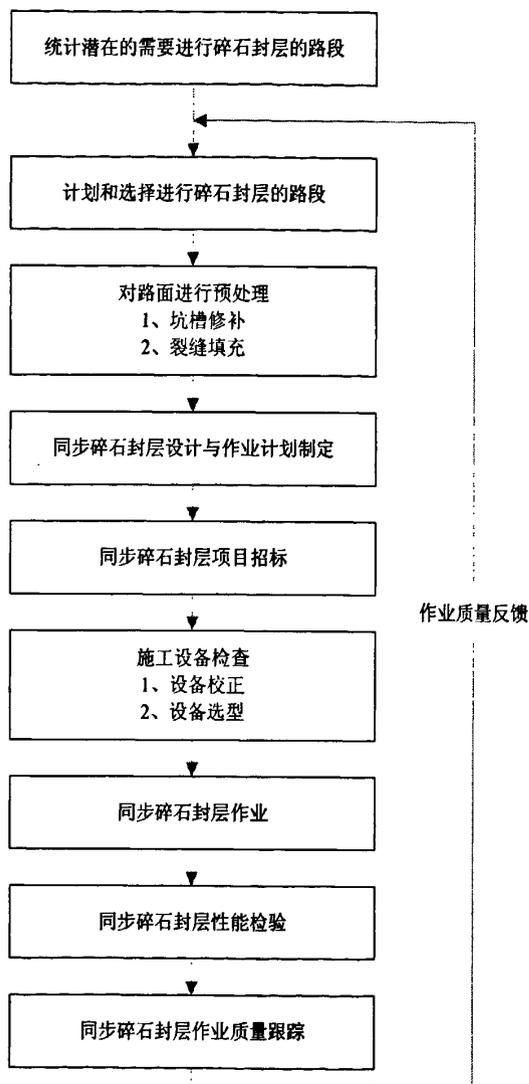


图 4.1 同步碎石封层体系

4.1 同步碎石封层路面准备

进行同步碎石封层前，必须对原路面进行处理。表面均一、平坦，只存在经同步碎石封层可以修复的病害。一般在进行同步碎石封层前要进行下列修复：

- 1) 修复所有的坑洞、沉陷；
- 2) 填充裂缝和破损；
- 3) 压平拥包，波浪和褶皱；

- 4) 铲除补丁和连接处过多的沥青;
- 5) 清扫所有需要进行同步碎石封层的路面。

4.1.1 修补

(1) 坑槽、裂缝

坑槽的冷、热修补和裂缝填充必须在同步碎石封层进行之前完成。灌缝除了可以防止水进入道路基层,还可以防止同步碎石封层作业过程中洒布的沥青进入裂缝;坑槽修补除了平整路面,还可以隔离道路病害,修补用的材料不同会影响修补质量和同步碎石封层的寿命。坑槽修补和灌缝在同步碎石封层前需要有足够的凝固时间,最好能在同步碎石封层之前几个月时间进行。通常坑槽修补在同步碎石封层之前6个月进行,灌缝在同步碎石封层前3个月进行。英国的同步碎石封层设计和施工手册规定坑槽修补和灌缝必须在进行同步碎石封层的前一年秋天进行,美国印第安纳州规定坑槽修补和灌缝必须在进行同步碎石封层的10天前进行。

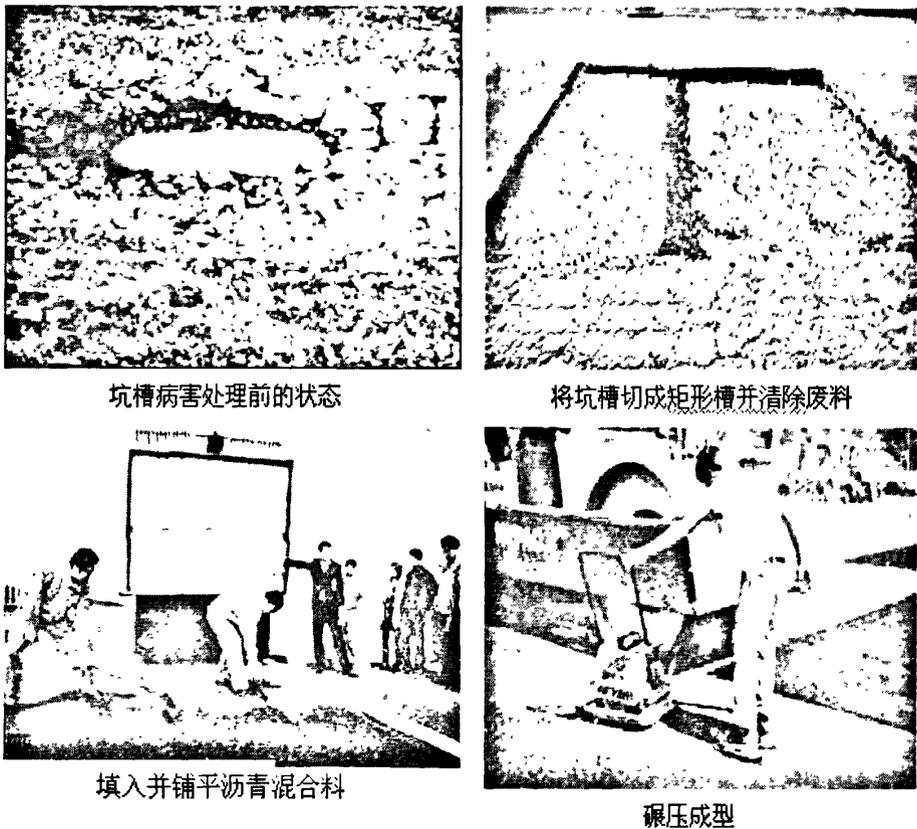
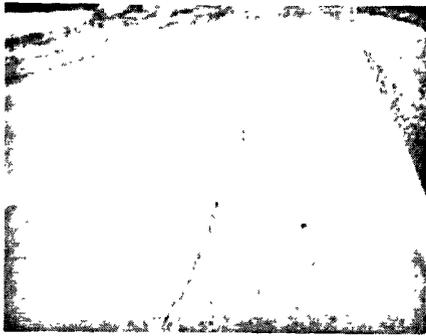
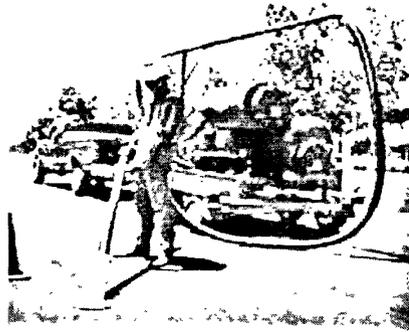


图 4.2 小面积坑槽修补



路面纵横裂缝



清理路面裂缝



填缝路面裂缝



处理后的路面裂缝

图 4.3 填充路面裂缝

(2) 拥包、波浪

轻微拥包、波浪而且已经稳定，应予铲高补凹，保持平整。拥包、推移严重，其高差达 5cm 以上时，要做大修，必要时还须处理路基土，或改善排水设施。经过测定如果是强度不足造成的，应对原路面进行补强。波浪比较轻微的路段宜利用雨后(或晴天洒水)使磨耗层处于湿润状态，然后用镐、路刮或拉毛器把高凸部分刮松、刮去，凹陷处拉毛、整平，刮出的粒料如粘性不足，可以适当添加粘结材料拌和(或筛除过多的细料，添加适当粗料)铺平，及时碾压密实。拥包、波浪比较严重的路段，应铲除高凸部分，重铺磨耗层混合料。

(3) 车辙

对于连续长度不超过 30m、辙槽深度小于 8mm、行车有小摆动感觉的车辙，可先将车辙内及其周围的尘土杂物清除，洒水润湿，然后通过烘烤、耙松，添加适量与原路面相同的新料拌和料填补并碾压密实即可。此种车辙病害的处理很适宜用热再生技术与设备修复。

车辙、推移的连续长度超过 30m、辙槽深度在 8mm~30mm 之间，有行车摆动且跳动感明显的或严重颠簸的车辙，应采取铣刨路面上面层或中上面层甚至全部面层，用与

原路面相同的适量新料重新摊铺面层的方法。上面层、中面层车辙也可采用热再生技术与设备修补。对于因基层施工质量差引起的车辙、推移，在重新摊铺面层前应先行处理好损坏基层。

车辙的面积较大、深度较深(大于 3cm)时，应按以下方法进行挖槽修理：

a) 先将修补、车辙的地方划出规则的轮廓，做到圆洞方补，所划轮廓要比损坏的略大，并清除尘土杂物。

b) 沿着轮廓垂直挖槽(必要时先洒水)，挖槽的深度不小于原坑槽最大深度，做到浅洞深补。

c) 对挖出的材料进行筛选，选出可以利用的材料。

d) 挖槽时，对下层材料应尽量避免振动，有松动应一并挖出。

e) 路面车辙较多，车辙之间的距离又近，为便于修补并使修补部分平整，可以将邻近的车辙划为一片，按片挖槽进行修补。

f) 新铺部分压实系数采用 1.3，以便碾压密实后与原路面齐平。如坑槽、车辙深度较大时，应按路面结构层次分层修补。

4.1.2 封层前清扫

清扫的目的是要扫走所有的泥土、灰尘和碎片，适当的清扫可以提供干净的路面，能够与沥青粘附良好。道路表面，通过清扫可以去除所有的杂质，确保同步碎石封层面的洁净。如果道路清扫量过多，在同步碎石封层进行的当天，还需再次清扫。

用旋转式清扫车清扫会产生大量的灰尘，如果灰尘过大影响交通安全，必须采用洒水车洒水，将灰尘控制在安全的水平。

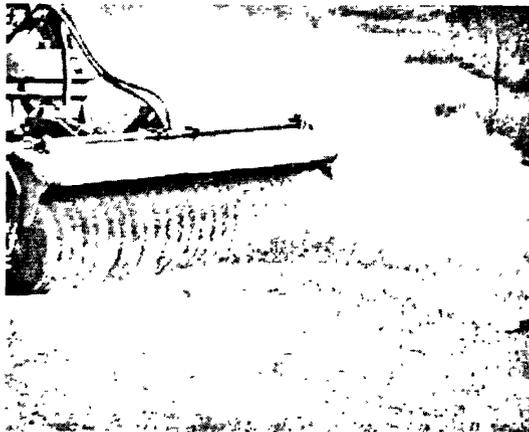


图 4.4 采用旋转式清扫车清扫路面

4.1.3 水洗法构造恢复

水洗法除了可清除路面杂质和灰尘，还可以恢复泛油区域的路面纹理。水洗必须小心进行，防止清除碎石表面过多的沥青，引发更多的问题。美国的研究表明，水洗法可以恢复同步碎石封层性能到首次的 75%，并将良好的路面状况保持到下一次同步碎石封层进行时。

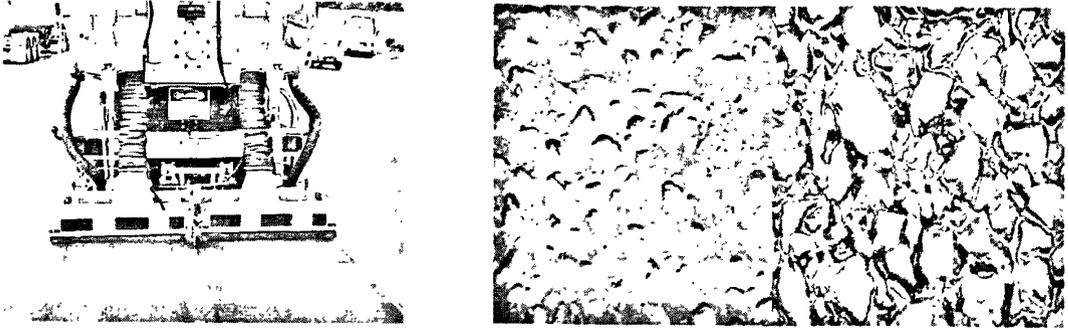


图 4.5 水洗前后路面纹理对比

4.1.4 预喷洒

澳大利亚和新西兰的经验表明，预喷洒是调整同步碎石封层路面结构的有效方法，可以解决车轮碾压较多区域和车轮碾压较少区域所需沥青量不同的矛盾。在车轮碾压较少的区域增加沥青洒布量，可以获得与车轮碾压较多区域相同的纹理结构。沥青洒布车的行走必须小心规划，确保沥青洒布车不洒布沥青已经较多的区域。图 4.6 所示，大宽度沥青洒布车一次可预喷洒两个车道的分隔线、车轮中间等贫油区域。这种技术和水处理都是为了在同步碎石封层时，能够在整个工作宽度范围内只需要均匀喷洒沥青，不需要为不同的区域调整沥青和碎石用量（同步碎石封层车是难以实现的）。

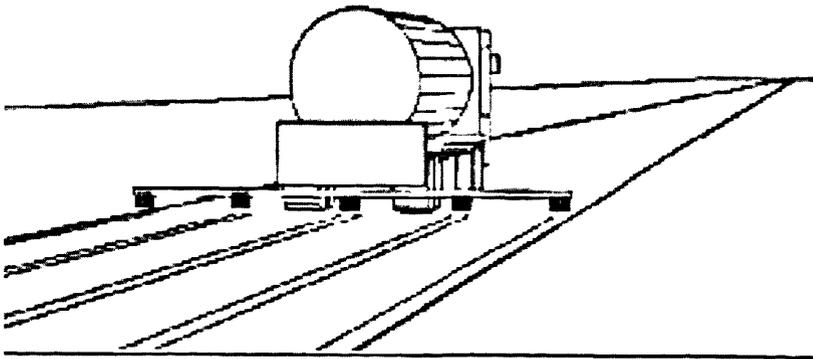


图 4.6 预喷洒作业

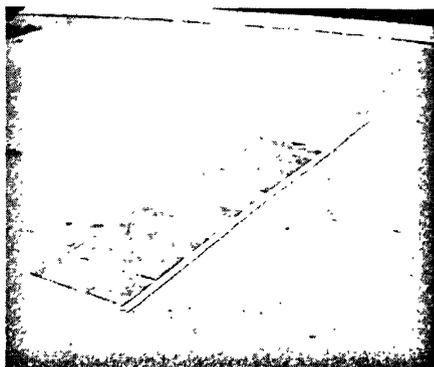
4.2 同步碎石封层车准备

4.2.1 碎石撒布系统校正

ASTM D5624-95 推荐了碎石撒布系统的校正所需要的工具包括:

1) 沿车辆宽度方向铺设的 12~16 块橡胶垫; 2) 用于称量碎石重量的秤; 3) 12~16 个用于装碎石的塑料袋; 4) 用于粘橡胶垫的宽胶带; 5) 用于记录的笔、纸; 6) 用于装以上物品的筐。

具体校正步骤见图 4.7。



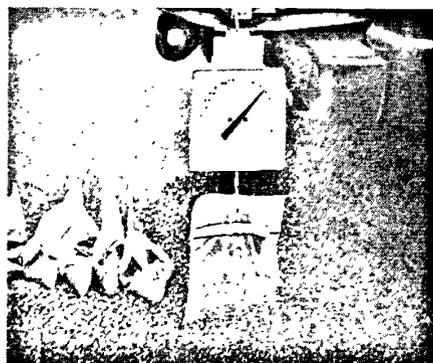
步骤 1: 铺设橡胶垫



步骤 2: 撒布碎石



步骤 3: 收集碎石



步骤 4: 称量、记录



步骤 5: 调整撒布机构

图 4.7 碎石撒布系统校正

4.2.2 沥青洒布系统校正

进行同步碎石封层前，还必须校正沥青洒布系统，否则会影响同步碎石封层的外观与质量。

1) 喷洒杆喷嘴调整

为了使同步碎石封层的沥青喷洒均匀，所有沥青喷嘴的角度必须一致。两端的喷嘴角度作相应调整，使喷洒杆两端的沥青喷洒边缘整齐。喷嘴角度用专用扳手进行调整，同时检查喷嘴有没有阻塞。

2) 喷洒杆高度调整

关闭部分喷嘴，检验扇面的重叠度。采用隔2喷洒方式，检验3重叠洒布；采用隔1喷洒方式，检验2重叠洒布。如果扇面不能在同一点重叠，说明喷洒杆过高或过低，需要进行调整。作业过程，同步碎石封层车重量逐渐减轻，洒布杆离地高度会变高，这个高度变化通常比较小，可以忽略。



图 4.8 沥青喷嘴角度调整

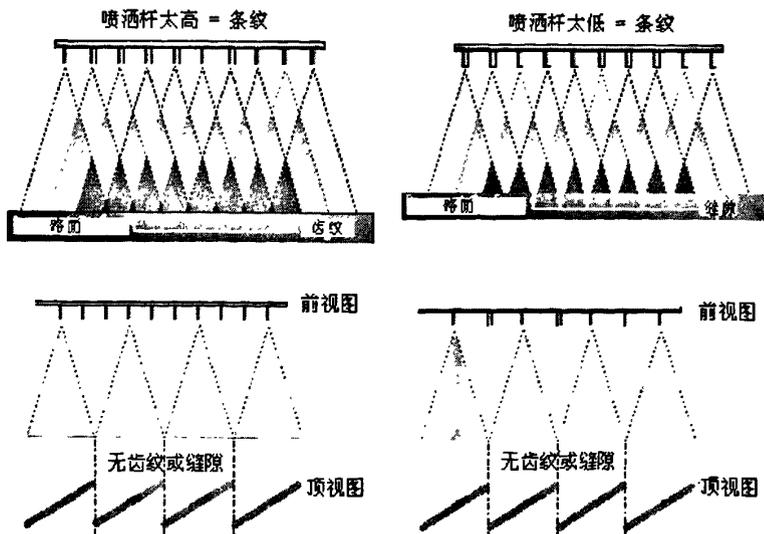


图 4.9 沥青喷洒杆高度校正

4.3 同步碎石封层施工过程质量控制

4.3.1 气候条件

(1) 天气情况

天气情况经常是导致同步碎石封层失败的重要原因。乳化沥青是通过蒸发获得粘附性，气温、路面温度、相对湿度、风速和降水都会对乳化沥青同步碎石封层质量产生影响。理想的进行同步碎石封层的天气应该是：湿度小，没有风，持续高温。采用热沥青进行同步碎石封层时，要绝对避免在大的湿度情况下进行施工，因为湿度过大，沥青和碎石之间的粘附效果变差，美国的施工经验表明，同步碎石封层施工时空气湿度不宜大于 50%。过大的空气湿度也会让乳化沥青的凝固速度明显变慢。

(2) 环境温度

同步碎石封层施工过程中的环境温度也会影响同步碎石封层的质量。沥青和碎石的粘附过程与沥青的粘度密切相关的，温暖的周围环境不仅使沥青和碎石接触紧密，也让同步碎石封层与原路面粘结紧密，这是一个普遍接受的观点。一般采用乳化沥青进行同步碎石封层时，环境温度不宜低于 10℃，采用热沥青进行同步碎石封层时，环境温度不宜低于 21℃，如果碎石能够被加热，同步碎石封层施工时的环境温度可以降低。

(3) 路面温度

路面温度会影响沥青和路面之间的热能传递，进而影响沥青的温度和乳化沥青的破乳速度，使同步碎石封层与路面的粘附性能变差。美国沥青协会推荐同步碎石封层施工时的路面温度不低于 21℃，如果路面温度过低，沥青粘度会高于所希望的沥青与碎石之间粘结的粘度。路面温度也不能过高，尤其是使用乳化沥青进行同步碎石封层施工时，沥青粘度过低，不能将碎石固定在确定的位置，一般路面温度不宜高于 54℃。

(4) 雨季施工

要绝对避免在下雨或即将下雨的天气进行同步碎石封层施工。同步碎石封层结束后的持续或间断的下雨会使同步碎石封层失败。如果避免不了突然来的暴雨，要在同步碎石封层的表面撒布足够多的碎石。尽可能关闭交通，否则将车速控制在最低，因为碎石和沥青还没有完全凝固。压路机碾压的次数要减少，因为碎石比较湿，沥青会黏附到压路机的轮胎上。

(5) 风速

在有大风的时候进行同步碎石封层施工也会引发比较多的问题。有风对于同步碎石

封层的施工利弊各半，风可以加速乳化沥青的凝固速度，尽快清扫，尽快开放交通，但风也会破坏均一的沥青喷洒扇面，必要时为沥青喷洒系统增加防风装置。

4.3.2 同步碎石封层

同步碎石封层前，首先要完成以下准备工作：

- 1) 设定同步碎石封层车的作业参数；
- 2) 划定同步碎石封层的作业区域；
- 3) 铺设接缝处的油毛毡；
- 4) 预喷洒确保喷嘴不堵塞；
- 5) 将沥青加热到洒布范围内。

在压路机准备就绪后，开始进行同步碎石封层施工。在喷洒起始点铺设油毛毡，除了解决同步碎石封层车起始洒布的不均匀问题，还可以保证接缝呈一直线。随时监视沥青喷洒情况，确保所有的喷嘴正确喷洒，发现喷嘴堵塞、不平行或沥青温度不在正常范围内，及时停车校正。

从美学和使用寿命角度出发，在同步碎石封层的起始点和终了点铺设油毛毡，实现无缝连接，但要确保在整个洒布范围内洒布量恒定，且不能出现洒布重叠。

纵向接缝不宜设置在车道中央，这会使外观变差，显得紊乱。纵向接缝数量要降到最低，最好设置在车道分界线的位置。操作人员技术要熟练，特别注意纵向接缝处的沥青喷洒，纵向接缝的宽度一般在 50~100mm。

碎石撒布要均匀，碎石撒布过多，容易损伤车辆的挡风玻璃，而且镶嵌效果差，不经济，还会增加额外的清扫量；碎石撒布过少，路面能明显看到沥青，而且碎石不能嵌入沥青到一定的深度，碎石容易脱落。碎石以不黏附压路机的轮胎为最佳。按照设计撒布量撒布碎石，但轮胎还会粘附碎石，说明沥青洒布量过大，碎石会在压路机作用下翻转，或是碎石过湿。碎石撒布过少或漏撒的区域可以人工补撒，拖耙非常适合于初压后，碎石撒布不均匀的情况。

松散的碎石，或过多的碎石，会影响同步碎石封层的质量。同步碎石封层过程中，通常会多撒布 10% 的碎石，然后扫除。碎石撒布过多，会增加清扫量，未被扫除的碎石会增加破坏挡风玻璃的概率。过多的碎石也会使镶嵌质量变差，影响同步碎石封层的质量。美国蒙大纳州规定碎石撒布量不能超出设计值的 10%，停车和转弯的地方可以适当增加碎石撒布量，可以像嵌入式封层那样减少碎石掉粒。

4.3.3 压实

沥青和碎石洒（撒）布完成后，采用压路机碾压将碎石摆放整齐，并嵌入热沥青或乳化沥青中。压实作业必须预先规划，划出人跟随的区域。确定压实模式时必须目测道路覆盖情况、碎石方向和嵌入情况，仔细的压实操作可以确保压路机不会破坏刚刚完成的同步碎石封层，特别是移动碎石。

压路机的数量根据同步碎石封层的宽度、碎石的尺寸和车流量确定，大颗粒碎石会降低压路机压实效率。大多数公路部门采用两台压路机，有的公路部门采用一台压路机，这在施工现场常常被忽视。

碎石摆放和嵌入深度不够，会影响同步碎石封层的寿命。图 4.10 是推荐的两种压实模式的对比：采用 3 台压路机，压实不均匀，车轮以外的地方压实遍数少，会增加这些区域碎石脱落的概率。这种压实模式采用 183cm 宽度的压路机，有效压实宽度仅为 176cm。采用 4 台压路机压实，压实更均匀，车轮经过以外的地方能够获得采用三台压路机进行压实时两倍的压实量。

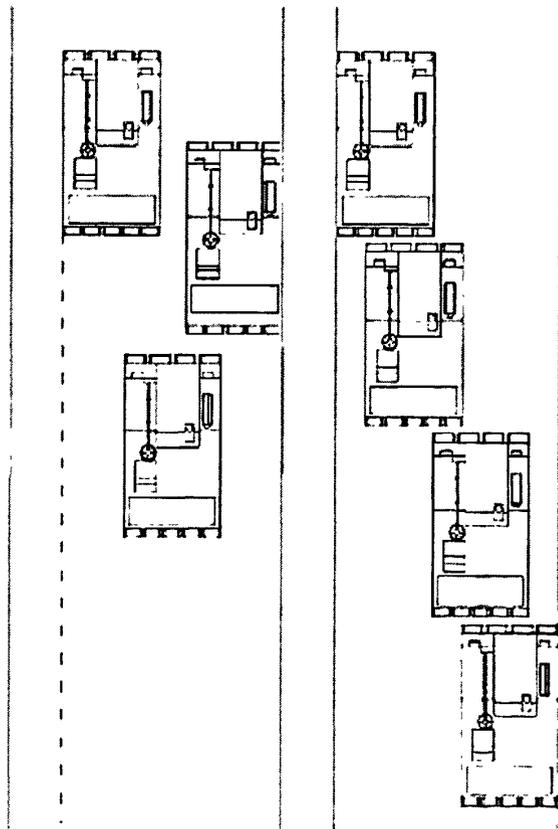


图 4.10 压实模式对比

沥青粘度增加,需要增加压路机的数量,特别是在寒冷的天气进行改性沥青同步碎石封层作业。明尼苏达州的经验表明:车流量小的道路要特别注意压实,因为车流量小的道路车辆经过较少,车辆的碾压,也有使碎石摆放整齐,增加嵌入深度的作用。

压实工作必须在沥青冷却、粘度变得很高之前完成,否则要达到相同的碎石嵌入深度,需要更多的压实遍数。因此,压路机必须紧随同步碎石封层车。采用乳化沥青同步碎石封层时,第一遍压实必须在乳化沥青破乳之前完成。

轮胎压路机的最大压实速度不宜超过 8km/h,以防止轮胎移动碎石。轮胎压路机的气压要求能够将碎石压入沥青而不压碎碎石。轮胎压路机的宽度要大于 1.82m,接地比压要大于 2.81kg/cm²,所有轮胎的接地比压差异小于 0.35 kg/cm²。

钢轮压路机主要用于复合同步碎石封层,可以获得比较平的封层面。在英国,采用钢轮压路机来提高同步碎石封层面的驾乘性能,这种方法正逐渐被穿橡胶靴的钢轮压路机取代。钢轮压路机的重量宜在 6~8 吨范围内。碎石级配容易被钢轮压路机破坏,钢轮压路机只能在静碾状态下工作,如果碎石有明显压碎现象,应立即停止使用钢轮压路机。如果基层有裂缝,钢轮压路机会使最初的灌缝破裂,不宜使用。

钢轮压路机也不宜单独使用:1) 钢轮压路机不能将同步碎石封层压实到最小的厚度;2) 路面不平时,钢轮压路机不能在整个宽度范围内与碎石接触,部分接触的碎石也不能承受钢轮的所有重量,此时应该选用轮胎压路机。

4.3.4 封层后清扫

清扫是要扫除路面多余的碎石。及时清扫,可以减少碎石破坏车辆挡风玻璃的机率。清扫必须小心进行,因为它本身也会让碎石脱落。压实完成后就进行清扫,也是不可取的,因为沥青没有完全凝固,和碎石及基层之间的粘结强度还不高。

清扫的最佳时机取决于沥青粘结碎石的程度。晚上温度降低时进行清扫,沥青、碎石的粘结强度已经足够。一般每条车道清扫三次,视地面情况而定。理论上,将碎石清扫到路边即可,在碎石不允许清扫到路边的情况下,采用拾取式清扫车。

清扫应该由车道中间向两侧进行,过后清扫可以在碎石封层完成后几天内进行。澳大利亚在清扫后用压路机进行碾压,将所有活动的碎石压入沥青层。如果清扫完后发现碎石嵌入深度不够,可以进行雾封层处理。如果嵌入深度超过 80%,即使合同有规定,也不能进行雾封层处理。

4.4 施工过程交通控制

在道路养护的同步碎石封层作业中,为保障作业的安全,并保证非施工车道的畅通和施工车辆的顺利通行,必须进行交通安全控制和交通流量控制。

4.4.1 交通控制区

交通控制区由警告区、上游过渡区、缓冲区、作业区、下游过渡区与终止区 6 个部分组成。

1、警告区

警告区长度不得小于 1500m。警告区内每隔一定距离应设置有关标志,第一个警告标志到下一个标志的间隔不得超过 300m,最后一个标志离上游过渡区的第一个渠化装置的间距不得小于 150m,其余各标志的间距在 100~300m 之间。警告区内应设置限制速度标志、前方施工标志、前方车道变窄标志、禁止通行标志等。

2、过渡区

一般分上游过渡区和下游过渡区。当车辆行驶至上游过渡区时,车速应小于 40km/h。该区长度为 65~100m,在上游过渡区前应设置禁止驶入标志。下游过渡区的长度应大于 30m。

3、缓冲区

缓冲区的长度应为 80m。其与上游过渡区之间应设置路障。

4、作业区

作业区是工程作业人员活动和工作的地方。其长度一般根据养护作业或施工的需要而定。车道与作业区之间必须设置隔离装置。作业区布置还应为工程车辆提供安全的进、出口。

5、终止区

终止区的长度不应小于 30m。在终止区的末端,应解除所设限制标志。

4.4.2 交通标志设置

在交通控制区内设置交通标志的位置,应符合下列规定:

- 1、作业区在右侧车道时,应将交通标志设在公路右侧路肩上和作业区边界的左侧。
- 2、作业区在左侧车道时,应将交通标志设在中央分隔带上和作业区边界的右侧。
- 3、作业区在中间车道时,应将交通标志设在同一方向公路的两侧和作业区边界的

两侧。

4、在上游过渡区内应设置作业标志车，车尾朝着车流来向，车尾必须挂有导向性标导和限速牌，车身颜色为醒目的桔黄色，车本身必须安装有黄色频闪灯和防冲撞装置。

各种交通标志的设置位置应符合下列规定：

1、禁令标志

- (1) 禁止通行标志：设在上游过渡区的前方。
- (2) 禁止超车标志：设在禁止超车路段的起点处。
- (3) 解除禁止超车标志：设在禁止超车路段的终点处。
- (4) 限制速度标志：设在限制车速路段的起点，标志牌上标明所限制的速度。
- (5) 解除限制速度标志：设在限制车速路段的终点处。

2、警告标志

- (1) 前方施工标志：设在警告区的起点处。
- (2) 前方车道变窄标志：设在车道变窄点前至少 200m 处。
- (3) 双向通行标志：设在双向通行路段前至少 400m 处。

3、指示标志

- (1) 前方绕行标志：设在需要绕行的车道进出处前至少 200m 处。
- (2) 各种直行、转弯和单行行驶标志：设在需要直行、转弯和单向行驶路段前 200m 处。

4、渠化装置和路面标线

渠化装置：渠化装置应醒目、稳定、轻便。

- (1) 锥形路标：是组成渠化渐变区的主要渠化装置，也常用作分隔车道。锥形路标必须从上游过渡区开始顺车流方向布置，间距为 10~20m。作业完成后，必须逆着车流方向拆除。
- (2) 交通安全带：是宽度为 10cm 的塑料带。带上有红白相间色，且有反光功能。交通安全带通常与锥形路标组合在一起使用，主要用于分隔车辆与作业区或双向车流的车道。
- (3) 导向标：设在车流方向改变的地方。

路面标线：高速公路养护作业时的路面标线为临时性标线，应与交通标志配合使用。当工程必须在夜间施工时，应在上游过渡区内设置黄色频闪灯，作业区内应设置照

明。

4.4.3 交通组织维护方案和安全生产保证措施

由于施工现场占用了原来较长路段的通行车道，必须有相应的交通组织维护方案及安全生产保证措施。

1、施工现场封闭程序

交通维护人员在交通安全车的配合下，在警告区设置临时禁令标志、警告标志、指示标志及标线；从上游过渡区开始位置用反光锥进行施工作业区封闭，包括上游过渡区、缓冲区、作业区、下游过渡区；在上游过渡区和下游过渡区分别设置交通标志及施工机械的入口便道和出口便道，同时设置醒目标志禁止其它非施工车辆误入。

2、交通安全维护措施

配置专职安全员 24 小时不定时巡视路面，检查安全设施摆放情况；夜晚施工必须安置足够的施工警告灯；出现交通堵塞时作业班组安全员应及时疏导，情况严重的，应与交警、路政和业主配合，采用对向分流或地方道路分流等措施来疏导交通。

交通控制不仅是保障行人和施工人员安全的重要措施，也是保持同步碎石封层的平整，继续使碎石嵌入沥青层的重要方法。

可以使用信号、导航车和旗帜控制交通，开放交通初期，车速不允许超过 25km/h。导航车不仅仅使过往车辆安全通行，也可以防止破坏挡风玻璃，增加碎石的嵌入深度。除了要限制过往车辆的通行速度，导航车还有让过往车辆避开车道正常通行区域，压实车辙以外的地区。

车速控制要持续到路面温度完全降低以后。要避免在路面温度还没有降低的情况下开放交通，因为沥青粘度还比较低，碎石容易脱落，天气炎热的时候，采用添加剂，可以快速开放交通。

4.5 同步碎石封层施工组织实例

4.5.1 同步沥青碎石封层在湖南省新建高速公路的推广应用

湖南省从 2005 年开始在常张高速公路水泥稳定碎石基层顶面修筑了同步碎石下封层试验路，2007 年分别在邵怀高速公路沥青路面路段和怀新高速公路全线采用了同步碎石下封层，大大提高封水效果和防反射裂缝的功能，通过这些路段的实施，总结了较多的施工关键技术和施工质量控制指标和方法。

(一) 材料要求

1) 沥青粘结料：对适用沥青没有特别严格的要求。可以使用不同的沥青结合料，如软化纯沥青、聚合物改性沥青、乳化沥青、聚合物改性乳化沥青、稀释沥青等，湖南省邵怀高速公路同步碎石封层是采用 SBS 改性沥青，怀新高速公路部分路段采用了普通石油沥青，部分路段采用 SBS 改性沥青。SBS 改性沥青同步碎石封层的沥青用量为 1.8~2.4 kg/m，普通石油沥青同步碎石封层的沥青用量为 1.3~1.8 kg/m。结合料的技术指标要求应符合《公路沥青路面施工技术规范》的要求。

2) 集料：集料采用粒径为 13.2~19 mm 的单粒径石灰岩碎石，它应具有良好的颗粒形状，且洁净、干燥、无风化、无杂质。其用量为满铺面积的 60%，约 10 kg/m。

(二) 工艺要求

1) 在浇洒改性沥青同步碎石封层前，应对已喷洒透层的基层顶面进行检查，有破损地方应进行修补；若有其他污染或杂物应进行冲洗或清扫，当用水冲洗时，应等水分蒸发表面完全干燥后才可进行改性沥青同步碎石封层的施工。

2) 在施工现场，采用轮式装载机向同步碎石封层车的骨料斗装载 13.2~19 mm 单粒径石灰石碎石，在沥青高温罐车泵吸高温改性沥青（175℃左右）到同步碎石封层车沥青储罐内，为防止高温沥青罐车的输油管阀滴漏沥青，应采用铁质容器接受滴漏沥青；将装好料的同步碎石封层车开至施工起点。操作手调整好各个系统的工作参数，然后指挥驾驶员沿预先设置的控制线起步，行驶速度应控制在 5~8 km/h 左右；打开各料门控制开关，使沥青喷出，同时撒布均匀碎石。改性沥青（或普通石油沥青）洒布量的参数一旦设定，同步碎石封层车的控制系统就会根据车速自动调节沥青流量，使洒布量控制在设定值，误差控制在 4-5% 以内。碎石撒布量应根据现场试验检测，通过控制车速确定。

3) 碾压：在沥青和碎石同步洒布后，进行碾压，采用轻型轮胎压路机稳压一、二遍，控制碾压速度为 5~8 km/h，使单粒径碎石嵌入改性沥青之中且牢固。没必要进行过多的碾压。

4) 养护：同步碎石封层铺筑后，封闭交通，尽可能早进行下面层的施工，下面层的运料车在封层上行驶，车速不得高于 20 km/h。

(三) 施工注意事项

1) 为保证雾状喷洒而形成均匀、等厚度的沥青膜，必须保证改性沥青同步碎石封

层洒布温度在 170 ℃以上。

2) 施工气温不得低于 15℃, 大风、浓雾或雨天不得施工。

3) 同步碎石封层车应以适宜的速度匀速行驶, 在此前提下石料和沥青两者的撒布率必须匹配; 并通过调喷嘴高度使得沥青膜厚度适宜和均匀。

4) 沥青和碎石洒布后, 应立即进行人工修补或补撒, 修补的重点是起点、终点、纵向接缝、过厚、过薄或不平处。

5) 派专人手拿竹扫帚紧跟同步碎石封层车后边, 及时把弹出摊铺宽度(沥青洒布宽度)外的碎石扫到摊铺宽度内, 或加工挡板防止碎石弹出摊铺宽度。并将有重叠的个别碎石扫除。

6) 当同步碎石封层车上任何一种料用完时, 应立即关闭所有材料输送的控制开关。查对材料剩余量, 校核拌和准确性。

4.5.2 瑞赣高速公路桥面防水层施工

(一) 设备配置

桥面防水层施工队伍具备的机械设备(每个作业面)主要有: 沥青、集料同步碎石封层机 1 台、16 吨以上胶轮压路机 1 台、洒水车 1 台、森林灭火器 3~4 台、机械钢丝刷(或清灰机) 1 台、清扫机 1 台等。

(二) 材料要求

①用于桥面防水层的沥青材料宜采用优质 SBS 改性沥青, 其质量必须符合施工指导意见的要求。

②集料必须采用石质坚硬、清洁、不含风化颗粒、近立方体颗粒的碎石。集料宜采用石灰岩, 规格为 S10, 单一粒径 9.5mm~13.2mm, 其规格必须符合施工指导意见的要求。

③SBS 改性沥青供货时应提供每批次的产品合格证, 产品检测报告等资料。

④施工过程中严格按照检测频率的要求进行分批检查, 工序控制, 切实做到材料不合格坚决退场。

(三) 重视桥面板处理

①桥面水泥混凝土层的铺装、桥头搭板必须采用专用设备施工, 监控人员加强施工过程的监控, 铺装层、桥头搭板施工过程中应严格控制铺装层平整度和表面粗糙度, 做好“拉毛”处理, 出现局部低洼不平、钢筋外露现象时应及时采取措施加以弥补, 为后

续桥面防水层施工提供良好操作平台。

②桥面板清理必须采用专用设备,具体控制如下:用机械钢丝刷将桥面上遗留的水泥混凝土浮浆、砂浆残留物、浮尘清除干净,出现难以清除的部分、钢筋外露的情况应配合人工措施凿除,如有油渍要用洗洁剂清洗,然后用清扫专用设备及扫帚、森林灭火器等将细石、杂物扫掉,灰尘吹干净,并用高压水枪对桥面进行冲洗,使桥面板干净、整洁,晒干后方可喷涂施工。

③桥面板处理完成表面干燥后,宜立即进行防水层施工,如需间隔施工,则必须封闭交通,防止对桥面造成污染,影响防水层的粘结效果。

④沥青喷洒前,应对桥上护栏座和护栏用塑料薄膜进行覆盖,防止沥青喷洒污染构造物。

⑤沥青喷洒前,应仔细检查桥面空鼓情况,对于桥面出现空鼓,应及时凿除并填补。若桥梁表面有超过 2mm 的大裂缝,要先用环氧水泥砂浆处理,将裂缝处理后,方可施工。

(四) 施工过程控制

①考虑到桥面热喷改性沥青防水层气温低于 10℃时,不宜喷洒改性沥青。因此,结合项目施工的实际情况,严禁桥面防水层在夜间、雨季施工。

②桥面防水层施工用集料,应进行预裹附处理,沥青用量为 0.5~0.7%,集料加热温度为 150~160℃,并应注意集料的洁净度。

③桥面防水层施工,应特别注意沥青和撒布集料的均匀性,用总量校核施工用量,沥青喷洒量按 1.2~1.5kg/m²,集料撒布量按 5~7m³/1000m² 进行控制,石料撒布率约 60~70%,以碾压时不粘轮为度。对于沥青洒布不均匀地方,应及时采用喷枪进行补洒。

④为保证桥面防水层施工质量,SBS 改性沥青、集料撒布应采用沥青、集料同步封层机施工,喷洒(撒)完成后必须采用胶轮压路机碾压 2~3 遍,保证集料与沥青牢固粘结。

⑤防水层施工中,必须严格按照相关要求的频率进行质量检测,技术要求应符合技术规范的要求。

⑥桥面防水层施工结束后,在条件允许的情况下应立即进行封闭管理,杜绝后期污染,对出现污染的桥面在施工沥青层前必须进行清洗。

4.5.3 安徽合铜公路同步碎石封层试验路

本次试验段选择了两种具有代表性的路面:K48+700~K49+600 段路面无纵横裂缝、抗滑系数低;K59+000~+200 段路面抗滑系数低、网裂众多。为使洒布层与原路面有良好的粘附力,在封闭的作业区内先进行泥块等杂物进行清扫,再用吹风机清除灰尘。

(一) 材料的选用

参照《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004),本次试验段根据施工工艺和路面要求,选择玄武岩 2 号(5~10mm)料和 3 号(3~6mm)料进行加工,方法分别是:2 号料先在筛料机上过 10mm 的筛,后在出料口支撑一个 6mm 的筛子,对于 3 号料也是过筛料机 10mm 筛,再在出料口支撑 4mm 这样一来,筛除过大和为了得到更精确的石料撒布量,在室内对石料堆密度、单位覆盖质量作了试验。

根据 ASTM(美国实验与材料协会)规范的要求,本次试验段选用 SK-70 号基质沥青,乳化剂采用 DF62 型快裂乳化剂。乳化沥青的生产将基质沥青温度控制在 135~140℃,乳水温度控制在 45~50℃,总体来讲乳水温度和沥青温度之和一般控制在 180~190℃。根据工艺要求和施工的情况来看,乳化沥青的固含量的 66%~68%。洒布时乳化沥青温度要求 60~70℃。

(二) 现场施工

在 K48+700~K49+600 段做第 1 种工艺:乳化沥青洒布量为 1.4kg/m²(乳化沥青固含量 66.5%,下同),2 号石料覆盖率为 110%,撒布后 10~15min 用胶轮压路机(9.5t)碾压两 2~3 遍。目的是使撒布的石料均匀密实,2~3h 后开放交通,自然碾压 4h 后,清扫回收脱落的石料再利用。

在 K59+000~+100 段做第 2 种工:分两层施工。下层油的洒布量为 1.2kg/m²,2 号石料覆盖率为 90%;上层洒布乳化沥青量为 1.0kg/m²,3 号石料覆盖率为 100%,养生、开放交通及清扫回收石料与第 1 种工艺相同。

在 K59+100~+200 段做了第 3 种工艺,也是分两层施工,下层乳化沥青量为 1.2kg/m²,2 号石料覆盖率为 90%;上层油的洒布量 0.9kg/m²,3 号石料覆盖率为 80%,养生、开放交通及清扫回收石料与第 1 种工艺相同。

施工完成以后,分别对 3 段试验路进行检测。

第五章 同步碎石封层作业质量检测与评价

5.1 同步碎石封层现行作业质量检测与评价方法

5.1.1 沥青喷洒量不均匀度

使用图 5.1 所示的工具及方法。将 n 块 (如 $n=5$) 吸收能力为预计沥青洒布量 1.5 倍的 $200 \times 100 \text{mm}$ 的海棉板横置于路面 (见图 5.1A), 同步碎石封层车将沥青喷洒于海棉板上 (见图 5.1B), 称出海棉板加空塑料袋的重量 $m_1 \sim m_5$ 和装有已吸附沥青的海棉板的塑料袋的重量 $M_1 \sim M_5$, 按下式可求出各块海棉单位面积所吸附的沥青量 d_i ($i=1 \sim 5$):

$$d_i = \frac{(M_i - m_i)}{S} \quad (5.1)$$

式中: $S=0.02 \text{ m}^2$

进而由下式可求出沥青喷洒量的不均匀度系数 CVt:

$$CVt = \frac{\sqrt{\frac{N \sum di^2 - (\sum di)^2}{N(N-1)}}}{\frac{\sum di}{N}} = \frac{\text{"di" 的标准偏差}}{\text{"di" 的平均值}} \times 100\% \quad (5.2)$$

式中: N =海棉板的总数 (本例中为 5)。

根据交通部行业标准 (JT/T 276-2004)《沥青洒布车/机》中基本作业性能要求, 沥青洒布量的偏差指标规定为:“沥青横向洒布量偏差 $\leq \pm 9\%$; 沥青纵向洒布量偏差 $\leq \pm 6\%$ ”。

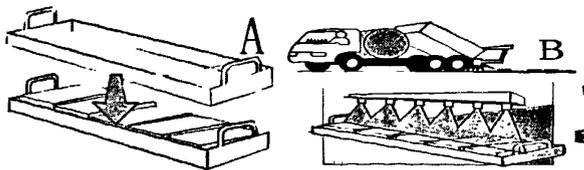


图 5.1 沥青喷洒量不均匀度测试

5.1.2 碎石撒布量不均匀度

按法国标准 NP 98 276-2 的规定, 其检测方法如下: 同步碎石封层车将碎石撒于路面 (不喷沥青); 将如图 5.2A 所示的格尺置于路面的碎石层上, 将每格内的碎石用真空吸石器吸入容器内 (见图 5.2B), 并称出每一格内碎石的重量 m_i ($i=1 \sim n$) (见图 5.2C)。

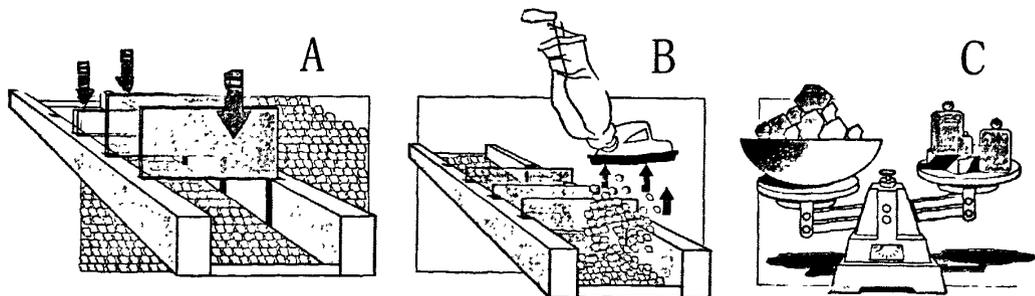


图 5.2 碎石撒布量的不均匀度测试

用下式算出每格单位面积的碎石撒布量：

$$d_i = \frac{m_i}{S} \quad (5.3)$$

式中：S=0.1 m²。

用下式算出石料撒布的不均匀系数：

$$CV_t = \frac{\sqrt{\frac{N \sum d_i^2 - (\sum d_i)^2}{N(N-1)}}}{\frac{\sum d_i}{N}} = \frac{\text{"d}_i\text{" 的标准偏差}}{\text{"d}_i\text{" 的平均值}} \times 100\% \quad (5.4)$$

式中：N=方格的总数。

交通量小于 300 辆车/日的封层，碎石量的误差系数不得大于 15%，

交通量大于 300 辆车/日的封层，碎石量的误差系数不得大于 10%。

5.1.3 碎石露出高度

按法国标准 NF P98 216-1 的规定，其检测方法如下：用细筛筛取 0.16/0.315 的干砂；清理测试路面，路面必须平整清洁、干燥、无油渍或松脱的碎石；将上述干砂倒入容积 V=25cm³ 的量杯中（见图 5.3A），然后撒到准备好的路面上（见 5.3B），并用图 5.3C 中所示的工具将砂堆推平成圆形，直至碎石刚好露出砂面；测量图 5.3D 中 d1 和 d2 的尺寸（mm），按下式算出碎石露出高度 SH_v：

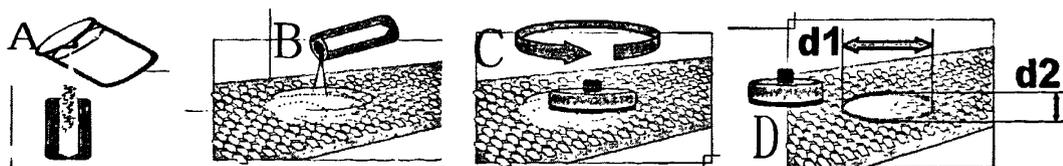


图 5.3 碎石露出高度

$$SH_v = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (5.5)$$

式中： $D = \frac{d_1 + d_2}{2}$ ， $V = 25000\text{mm}^2$

对于车流量小于 300 辆/日的路面， HS_v 应 $\geq 1.2\text{mm}$ ，

对于车流量小于 300-750 辆/日的路面， HS_v 应 $\geq 1.6\text{mm}$ ，

对于车流量大于 750 辆/日的路面， HS_v 应 $\geq 2.2\text{mm}$ 。

5.1.4 平均碎石脱粒率

按法国标准 XP P18577 的规定，平均碎石脱落率的极限值 $R_{lim} = 10\%$ ，其测试方法如下：将 100 米长的路面段，如图 5.4A 所示，划分为 10 个区域。若路宽 $> 6\text{m}$ ，则在路的半边测定；如图 5.4B 所示，将测量框依次置于每一个区域中的病害最严重处（碎石粒径 $\leq 6\text{mm}$ ，使用边长 100mm 的方框，碎石粒径 $\geq 6\text{mm}$ ，使用边长 200mm 的方框）；如图 5.4C 所示，测算方框中可能容纳的碎石数 N_i ， $N_i = N_1 \times N_2$ ；测算脱落的碎石数 n_i （见图 5.4D）。

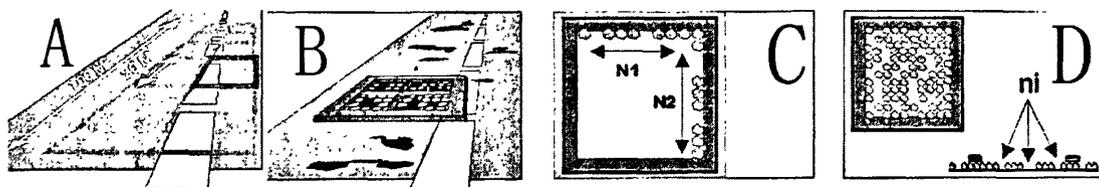


图 5.4 平均碎石脱粒率

按下式算出脱落碎石占总碎石量的百分比：

$$P_i = (n_i / N_i) \times 100\% \quad (5.6)$$

按下式算出平均碎石脱落率：

$$M_p = \sum P_i / 10 \quad (5.7)$$

若 $M_p < 10\%$ ，且无 $P_i > 20\%$ ，则路面封层合格，

若 $M_p > 10\%$ ，则表明路面封层不良，应考虑修复，

若 $M_p < 10\%$ ，且至少有一处 $P_i > 20\%$ ，则需检测成片性病害的面积。

5.1.5 成片性病害的检测

法国标准 XP P18577 将成片性病害归纳为泛油和脱粒、脱皮和碎石表层覆油两类，并对这两类病害区面积的极限值及检测方法规定如下：

泛油和脱粒区面积的极限值 R_{lim} 规定为：(测量框面积) $\times 50\%$ ，

脱皮和覆油区极限值：目测（见图 5.6）。

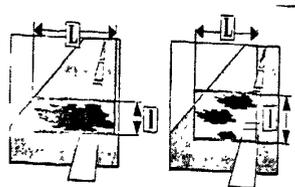


图 5.5 泛油和脱粒区面积的极限值

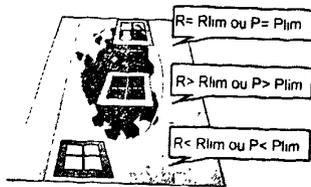


图 5.6 脱皮和覆油区极限值

脱皮和覆油区面积 S_r :

$$S_r = \frac{I \times L}{2} \quad (5.8)$$

碎石脱落和泛油区面积 S_p : 病害区为方形, 则 $S = I \times L$; 其它形状, $S = I \times L \times 0.8$ 。

现举例如下: 若发现有如图 5.7 所示的三处病害, 则其总的病害面积 V 可按下式求出:

$$V = \frac{\sum S_i}{A} = \frac{S_{d1} + S_{d2} + S_{d3}}{A} \quad (5.9)$$

式中: A = 测量区面积。

交通量 < 50 辆/日时, V 应 < 8%, 否则, 封层应予修复。

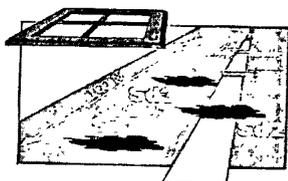


图 5.7 成片性病害区面积的测定

5.2 基于置信概率的同步碎石封层质量评价方法

上述评价方法, 只针对同步碎石封层的单一指标, 且在实际应用中还存在缺陷。

根据交通部行业标准 (JT/T 276-2004) 《沥青洒布车/机》中基本作业性能要求, 沥青洒布量的偏差指标规定为: “沥青横向洒布量偏差 $\leq \pm 9\%$; 沥青纵向洒布量偏差 $\leq \pm 6\%$ ”。为了对测试结果优劣进行比较, 有关业务部门还定出: “沥青横向洒布量偏差 $\leq \pm 10\%$ 为合格, $\leq \pm 9\%$ 为一等, $\leq \pm 7.5\%$ 为优, 沥青纵向洒布量偏差 $\leq \pm 8.5\%$ 为合格, $\leq \pm 6\%$ 为一等, $\leq \pm 5\%$ 为优”。

工程应用中, 如果忽略不同的施工方法, 仅就沥青洒布而言, 可以将沥青洒布量抽象出来, 依次排列为: 0.2~0.4, 0.4~0.6, 0.6~0.8, …… , 2.8~3.0。不同的施工工艺要求的沥青洒布量是一个范围, 而不是一个具体的数值, 如表 5.1 所示。同时可以看到, 无论洒布量大小, 其允许偏差范围都是 0.2。

表 5.1 工程要求的沥青洒布量极差表示

规范洒布量 (L/m ²)	($\mu_A \pm 0.1$) (L/m ²)	误差范围
0.2~0.4	0.3±0.1	±33.3%
0.4~0.6	0.5±0.1	±20.0%
0.6~0.8	0.7±0.1	±14.3%
0.8~1.0	0.9±0.1	±11.1%
1.0~1.2	1.1±0.1	±9.0%
.....
2.8~3.0	2.9±0.1	±3.4%

如果洒布量的中值用 μ_A 表示, 极差用 ± 0.1 表示, 根据规范要求, 沥青洒布量落在 $\mu_A \pm 0.1$ 之间就是合格的。

从数学表达方式来说, 0.3 ± 0.1 与 $0.2 \sim 0.4$ 是等效的, 但前者是用中值 0.3 和极差 ± 0.1 表示, 它比后者的优越性在于有一个明确的期望值, 而后者仅表示洒布量落在 $0.2 \sim 0.4$ 之间即可。因此, 将工程要求的沥青洒布量以极差方式表示更为清晰。

传统方法中用不均匀度 CVt 评价沥青洒布质量, 这种精度评价方法存在以下问题:

1) 测试需要统一设定值 μ_A , 以保证测试结果平均值 \bar{x}_A 相近, 否则相同的标准差 s_A 将得出不同的离散系数, 有可能 μ_A 大时洒布质量合格, μ_A 值小时洒布质量不合格;

2) 这一评价方法没有把系统偏差 c_A 考虑进去, 而实际上洒布总量的控制主要取决于系统偏差 c_A , 影响路面工程施工质量的原因也就在于此。

理论和实践表明, 沥青洒布量是一个随机变量, 符合正态分布 $N(\bar{x}_A, s_A^2)$, 其概率密度分布见式 5.10。

$$f(x_A) = \frac{1}{s_A \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_A - \bar{x}_A)^2}{2s_A^2}} \quad (5.10)$$

为此, 国内著名沥青洒布车生产厂家——西安达刚机电有限公司李太杰提出“用置信概率表示沥青洒布量精度比较符合沥青洒布量的工程要求”, 就是用实际洒布量落入设计洒布量 $\mu_A \pm 0.1$ 区间内的置信概率表示沥青洒布质量。例如, 置信概率 99.7%, 偏

差区间是 $-3s_A \sim 3s_A$ ；置信概率 95.4%，偏差区间是 $-2s_A \sim 2s_A$ 。其关系见表 5.2。

表 5.2 置信概率、标准差关系

置信概率/%	正态分布区间范围	标准差 s_A (相应 $\mu_A \pm 0.1$)
99.7	$-3s_A \sim 3s_A$	0.033
95.4	$-2s_A \sim 2s_A$	0.050

由于系统误差的存在，实际洒布量抽样检验的均值 \bar{x}_A 将偏离设计洒布量中值 μ_A ($c_A = \bar{x}_A - \mu_A$)，对于某一次抽样检验而言，权且认为 c_A 是一个常数， c_A 的存在将降低沥青洒布量的置信概率，只有 $c_A=0$ 时置信概率最大。然而，在实际工作中， c_A 值几乎不可能等于 0，故在评价沥青洒布质量时，应把均值 \bar{x}_A 和标准差 s_A 作为检验洒布量精度的条件，把工程洒布量 $\mu_A \pm 0.1$ 作为检验洒布量的依据，洒布量精度置信概率按式 5.11 计算。

$$P_{sA} = \int_{\mu_A - 0.1}^{\mu_A + 0.1} \frac{1}{s_A \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_A - \bar{x}_A)^2}{2s_A^2}} dx_A \quad (5.11)$$

洒布量的置信概率 P_{sA} 还可以用图 5.8 通过系统偏差 c_A 和标准差 s_A 查找。为了对沥青洒布质量进行分级，还可对置信概率 P_{sA} 进行人为分级，如优线、良线等。

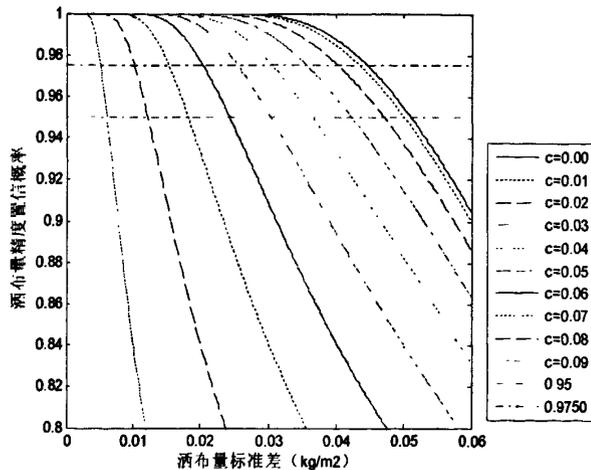


图 5.8 置信概率随标准差变化的曲线

洒布精度误差 d_A 还可以用 $(1 - P_{sA})$ 表示。

与引起沥青洒布量误差因素一样,引起碎石撒布量误差的原因是车速的变化。因此,碎石撒布量也是一个符合正态分布 $N(\bar{x}_a, s_a^2)$ 的随机变量,其概率密度分布见式 5.12。

$$f(x_a) = \frac{1}{s_a \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_a - \bar{x}_a)^2}{2s_a^2}} \quad (5.12)$$

式中: \bar{x}_a ——碎石撒布量测量值的平均值; s_a ——碎石撒布量测量值的标准差。

碎石撒布量精度置信概率:

$$P_{sa} = \int_{\mu_a - a}^{\mu_a + a} \frac{1}{s_a \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_a - \bar{x}_a)^2}{2s_a^2}} dx_a \quad (5.13)$$

式中: a ——碎石撒布量极差。

碎石撒布和沥青洒布是两套独立的系统,沥青洒布量和碎石撒布量均服从正态分布,因此,同步碎石封层作业精度的联合概率密度分布:

$$f(x_A, x_a) = f(x_A)f(x_a) = \frac{1}{2\pi s_A s_a} e^{-\left[\frac{(x_A - \bar{x}_A)^2}{2s_A^2} + \frac{(x_a - \bar{x}_a)^2}{2s_a^2}\right]} \quad (5.14)$$

同步碎石封层作业精度置信概率:

$$P_s = \int_{\mu_A - 0.1}^{\mu_A + 0.1} \int_{\mu_a - a}^{\mu_a + a} \frac{1}{2\pi s_A s_a} e^{-\left[\frac{(x_A - \bar{x}_A)^2}{2s_A^2} + \frac{(x_a - \bar{x}_a)^2}{2s_a^2}\right]} dx_a dx_A \quad (5.15)$$

第六章 结论与展望

6.1 结论

同步碎石封层技术是目前最经济的道路养护方法之一。2002年同步碎石封层技术进入中国以来,由于缺乏相应理论指导与实践经验,因此应用主要集中在技术要求相对较低的下封层作业,路面养护中应用较少。本文根据同步碎石施工中存在的一些问题展开了研究,主要工作如下:

(1) 研究了同步碎石封层车技术现状、结构和工作原理,依据沥青罐和碎石料箱容积现状,从生产率和成本的角度探讨了同步碎石封层施工中的设备选型与组合;

(2) 以施工作业质量为目标,研究了沥青、碎石、沥青与碎石之间粘附性、以及气候条件对同步碎石封层作业质量的影响,为合理选择同步碎石封层的沥青和碎石材料提供了参考;

(3) 研究了路面准备、车辆校正、施工过程质量控制等同步碎石封层施工工艺流程,以及同步碎石封层作业过程中的交通控制,为同步碎石封层施工的合理组织提供了借鉴。

(4) 现行的同步碎石封层作业质量评价方法一般只能评价单一指标,且相同的误差对不同的洒布量基准有不同的质量等级,论文建议采用基于置信概率的方法综合评价同步碎石封层的作业质量。

6.2 展望

虽然论文对同步碎石施工中的一些问题做了探讨,但是还有很多内容需要进一步完善,以期达到更好的应用效果,需要完善的主要有以下几个方面:

(1) 同步碎石封层性能指标检测及同步碎石封层质量评价的量化标准需要进一步研究;

(2) 不同区域和气候条件下的同步碎石封层材料指标的研究还需深入。

参考文献

- [1]. 孙祖望. 沥青路面养护维修技术的发展与新材料、新工艺、新技术的应用(一)[J]. 建设机械技术与管理, 2004,17(8):22-25.
- [2]. 孙祖望. 沥青路面养护维修技术的发展与新材料、新工艺、新技术的应用(二)[J]. 建设机械技术与管理, 2004,17(9):48-51.
- [3]. 孙祖望. 沥青路面养护维修技术的发展与新材料、新工艺、新技术的应用(三)[J]. 建设机械技术与管理, 2004,17(12):57-60.
- [4]. 孙祖望. 创新改变路面养护维修技术[J]. 交通世界(建养.机械), 2005,12(10):8.
- [5]. 孙祖望. 沥青路面养护技术的发展与展望[J]. 筑路机械与施工机械化, 2004,21(1):4-7.
- [6]. 黄颂昌,徐剑,秦永春. 我国沥青路面养护技术现状与发展展望[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2006,2(8):5-8.
- [7]. 张宗辉. 同步碎石封层技术——新一代道路建筑与养护技术[J]. 交通世界, 2004,11(7): 38-41.
- [8]. 张宗辉. 同步碎石封层技术在中国的快速发展及应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2004,21(11):6-9.
- [9]. 中华人民共和国交通运输部. 2007 年公路水路交通行业发展统计公报[OL/EB]. http://www.moc.gov.cn/zhuzhan/tongjixinxi/fenxigongbao/tongjigongbao/200804/t20080418_480524.html,2008-04-18.
- [10].Lita Davis, Bart Desai, Larry Galehouse et al. NCHRP Report 342: Chip Seal Best Practice[R]. Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C., 2005.
- [11].Asphalt Seal Coats, Technology Transfer[R].Washington State Department of Transportation, Olympia,2003.
- [12].Thomas J. Wood, David W. Janisch, Frank S. Gaillard. Minnesota Seal Coat Handbook 2006[R]. Minnesota Department of Transportation, Office of Minnesota Road Research, St.Paul, 2006.
- [13].寸木. 同步碎石封层[J]. 公路养护, 2007 (1):22-45.

- [14].杨文娟,顾海荣,单永体. 路面温度对城市热岛的影响[J]. 公路交通科技, 2008,25(3):147-152,158.
- [15].刘贤惠,武泽锋,李巍等. 同步碎石封层技术简介[J]. 东北公路, 2003,26(1):21-24.
- [16].张宗辉. 同步碎石封层技术在道路养护和建设中的应用前景[J]. 建筑机械, 2004 (3):51-53,56.
- [17].覃峰,包惠明. 同步碎石封层新技术的应用[J]. 桂林工学院学报, 2007,27(1):69-72.
- [18].邹剑,蒋功雪. 同步碎石封层技术在沥青路面预防性养护中的应用[J]. 湖南交通科技, 2007,33(2):33-35.
- [19].周哲,潘俊山,于德营. 同步碎石封层技术在公路养护上的应用[J]. 辽宁省交通高等专科学校学报,2007,9(3):9-10.
- [20].唐承铁. 同步沥青碎石封层在高速公路建设和养护中的推广应用研究[J]. 湖南交通科技, 2008,34(1):16-18,106.
- [21].陈素丽,许福文,李桂芝. 同步碎石封层技术研究及在公路养护中的应用[J]. 公路, 2005(6):174-181.
- [22].富文军,姜武杰. 同步碎石封层技术在沥青路面养护中的应用[J]. 建筑机械化, 2006(5):96-98,109.
- [23].黄金龙,王春海. 同步碎石封层技术在公路养护中的应用[J]. 北方交通, 2008(7) :19-20.
- [24].张俊豪. 同步碎石封层技术在桥面防水结构层中的应用[J]. 山西交通科技, 2008(2):65-66.
- [25].陈全. 同步碎石封层技术在公路工程中的应用[J]. 中国水运(学术版), 2007,7(1):61-62.
- [26].郭鑫. 同步碎石封层技术在下封层的应用[J]. 山西能源与节能, 2008(2):41-42.
- [27].谢祥根. 同步碎石封层技术和 SBS 改性沥青防水层的应用研究[J]. 湖南交通科技, 2007,33(1):10-13,44.
- [28].李纯,何兆益,闫东波. 开普封层在农村公路中的应用探讨[J]. 公路, 2007(12):129-131.
- [29].胡鹏辉. 同步碎石封层技术特点及在县乡公路沥青路面中的应用探讨[J]. 交通科技, 2006,32(1):45-47.

- [30].陈富强,樊统江,贾敬鹏等. 同步碎石路面施工若干问题的探讨[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2007,26(5):68-71.
- [31].安庭虎,徐伟. 碎石封层的分类与适用性[J]. 山西建筑, 2008,34(6):295-296.
- [32].袁堂涛,李航. 沥青洒布车和石屑撒铺设备在公路沥青路面养护中的应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2003,20(4):49-50.
- [33].Secmair. Method and vehicle for pavement surface dressing[P]. US 6918714, 2005-07-19.
- [34].KMC Enterprises, Inc. Roadway paving system and method including roadway paving vehicle and supply truck [P]. US6805516, 2001-06-04.
- [35].Barnat, James J., O'Brien, Patrick, Dabbs, Harold. Roadway paving supply truck[P]. US6805516, 2002-09-04
- [36].焦生杰,顾海荣,张新荣. 同步碎石封层设备国内外研究现状[J]. 筑路机械与施工机械化, 2007,24(7):1-3.
- [37].张新荣,焦生杰. 同步碎石封层技术及设备[J]. 筑路机械与施工机械化, 2004,21(11):1-4.
- [38].长安大学. 可连续施工的同步碎石封层机[P]. 中国: 200720031406.1, 2008.01.23
- [39].顾海荣,焦生杰. 采用液压驱动行走的同步碎石封层设备[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2007,27(6):103-106.
- [40].顾海荣,李国柱,焦生杰. 道路施工宽幅碎石布料器关键结构参数设计方法[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2008,28(3):101-104.
- [41].高子渝,王欣. 同步碎石封层车控制系统研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2007,24(7):7-9.
- [42].焦生杰,强召雷. 同步碎石封层车液压系统参数设计[J]. 中国工程机械学报, 2006,4(3):299-302.
- [43].刘士杰,李俊武. 同步碎石封层设备典型液压系统结构与性能分析[J]. 筑路机械与施工机械化,2007,24(7):4-6.
- [44].李国柱,顾海荣,张平. 同步碎石封层机作业速度[J]. 筑路机械与施工机械化,2008,25(5):55-57,60.
- [45].焦生杰,顾海荣. 沥青洒布车及其控制技术现状[J]. 筑路机械与施工机械

- 化,2007,24(1):1-4.
- [46].李云济,张大海,焦生杰. 基于 AMESim 的沥青洒布车开式液压系统仿真研究[J]. 中国工程机械学报,2006,4(2):137-141.
- [47].张新荣,李芳芳,张海堂等. 基于 DSP 的沥青洒布量控制系统设计[J]. 工程机械, 2008,39(8):24-27,76.
- [48].张新荣,张海堂. 基于 MODBUS 协议的触摸屏通讯系统设计[J]. 筑路机械与施工机械化,2007,24(3):41-43.
- [49].李国柱. 沥青洒布车作业的起步距离分析[J]. 工程机械与维修, 2007,14(9):98-100.
- [50].强召雷. 同步碎石封层车控制系统研究[D]. 西安:长安大学,2007.
- [51].张海堂. 基于 DSP 的同步碎石封层设备沥青洒布控制系统研究[D]. 西安:长安大学,2007.
- [52].刘志敏. 智能型沥青洒布车系统方案研究[D]. 西安:长安大学,2005.
- [53].河南省高远公路养护设备有限公司. 同步碎石封层机[P].中国: 200520078495.6, 2006.04.12.
- [54].河南省高远公路养护设备有限公司. 不举升料斗的同步碎石封层机[P]. 中国: 200620078487.6, 2007.02.14.
- [55].邢昌友. 拖式同步碎石封层机[P]. 中国: 200720019220.4, 2008.01.23.
- [56].李太杰. 沥青洒布车洒布量精度及其评价指标[J]. 建筑机械, 2004,24(7):54-56,62.
- [57].李太杰. 沥青洒布车洒布质量的控制[J]. 筑路机械与施工机械化, 2007,24(1):5-8.
- [58].尹友中. 沥青洒布横向均匀性的设计控制[J]. 筑路机械与施工机械化, 2007,24(6):34-37.
- [59].康敬东. 沥青洒布车多重叠洒布的参数分析[J]. 建筑机械, 2005,25(2):83-84,87.
- [60].杨春来. 多功能沥青洒布车喷头结构的性能分析[J]. 专用汽车, 2004,23(3):28-29.
- [61].余林. 沥青洒布车功率平衡分析及设计计算[J]. 筑路机械与施工机械化, 1998,15(5):4-6,43.
- [62].余世诚. 沥青洒布车作业性能指标评价分析[J]. 筑路机械与施工机械化, 1994,11(5):14.
- [63].傅小威. 三层搭接多级定量沥青洒布车设计要点[J]. 工程机械, 1993,30(2):7-9,44.
- [64].梁仲诚. 影响沥青洒布层均匀性的主要因素[J]. 筑路机械与施工机械化, 1992,9(1):40

- [65].李炯. 沥青洒布车速度误差对洒布精度的影响[J]. 筑路机械与施工机械化, 1992,9(3):7-9,44.
- [66].李炯. 关于后置发动机式沥青洒布车几个重要技术参数的确定[J]. 工程机械, 1993,30(10):24-26,42.
- [67].李炯. 机械式沥青洒布车作业性能的分析[J]. 工程机械, 1995,32(5):21-23,41.
- [68].樊元清,张克成. 沥青洒布车喷嘴喷洒性能的试验研究[J]. 工程机械, 1989,26(1):32-35,57.
- [69].吴茂,张克坚. 洒布车专用装置取力功率确定与校核计算[J]. 筑路机械与施工机械化, 2007,24(7):36-38.
- [70].崔树军,张润利. 工程机械专利信息之沥青洒布车篇[J]. 工程机械文摘, 2005,23(4):17-19.
- [71].吕占祥,彭靖宇. 沥青洒布车喷洒部分的改造[J]. 筑路机械与施工机械化, 1998,15(2):15-16.
- [72].汪仁煌,汪锐. 沥青流量的测量和控制[J]. 仪器仪表学报, 2000,21(6):565-568.
- [73].由相波. 沥青喷洒系统驱动方式研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2007,24(5):31-33.
- [74].张存公,石剑. 同步封层车碎石撒布质量效果[J]. 筑路机械与施工机械化, 2008,25(5):58-60.
- [75].JT/T 276-2004. 沥青洒布车/机[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [76].JTG F40-2004. 公路沥青路面施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

致 谢

感谢导师焦生杰教授三年来对我的关心与培养，导师学术严谨、治学有方，在撰写论文上给我悉心指导，在生活与学习上亦对我谆谆教诲，这些为我以后的发展奠定了基础，指明了方向！值此论文完成之际，谨向导师表示衷心的感谢！

在课题研究及论文写作过程中，还得到顾海荣老师以及张平师兄等的指点帮助，在此表示衷心的感谢！

