

灌注式半柔性路面材料性能研究综述

牟长江, 程 凯, 刘 瑞

中化学交通建设集团有限公司, 山东 济南
Email: 601786908@qq.com

收稿日期: 2021年3月12日; 录用日期: 2021年4月15日; 发布日期: 2021年4月23日

摘 要

灌注式半柔性路面具有抗车辙、抗推移、抗水损害等优良的路用性能, 同时兼具耐油、耐酸、耐热、耐水及景观装饰等功能, 主要用于沥青路面车辙严重区域。结合以往的研究结果对半柔性路面路用性能、强度形成机理、强度影响因素进行阐述, 根据试验路使用效果来看, 半柔性路面结构在渠化重载交通路段具有较大应用潜力。

关键词

灌注式半柔性路面, 路用性能, 强度形成机理, 强度影响因素

Review of Research on Performance of Pouring Semi-Flexible Pavement Materials

Changjiang Mou, Kai Cheng, Rui Liu

China Chemical Transportation Construction Group Co., Ltd., Jinan Shandong
Email: 601786908@qq.com

Received: Mar. 12th, 2021; accepted: Apr. 15th, 2021; published: Apr. 23rd, 2021

Abstract

The pouring semi-flexible pavement has excellent road performance such as anti-rutting, anti-pushing and anti-water damage. It also has the functions of oil resistance, acid resistance, heat resistance, water resistance and landscape decoration. It is mainly used in asphalt pavement with serious rutting area. Combining previous research results the performance strength formation mechanism and strength influencing factors of semi-flexible pavement are described. According to the use effect of test roads, semi-flexible pavement structures have great application potential in canalized heavy-duty traffic sections.

Keywords

Pouring Semi-Flexible Pavement, Road Performance, Mechanism of Strength Formation, Strength Influencing Factors

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

灌注式半柔性路面在国外的研究开始于上世纪五六十年代,最早 1954 年用于法国的一个飞机跑道的试验段修筑中,称为“salviacim”法,即水泥灌浆施工法[1] [2] [3]。半柔性路面材料在邻国日本也得到充分的应用,公路收费站、大型加油站、公交车专用线等区域均有使用,同时日本研究人员还对施工进行研究,并申请了“半柔性复合路面和半柔性路面施工法”的专利,还利用彩色水泥砂浆铺筑出不同颜色的道路,增加道路美观性[4] [5]。我国开始半柔性路面研究始于上个世纪八十年代,研究进度较为缓慢,直到 2010 年后才有科研院校、施工单位等开发研究,并进行道路铺筑,取得一定成果[6] [7] [8]。

灌注式半柔性复合路面是在柔性的大空隙沥青混合料(空隙率在 20%~30%之间)中灌注刚性较强的复合浆体(图 1),形成刚柔并济复合路面,具有沥青路面的美观舒适性,同时又体现混凝土路面的强度稳定性[9] [10]。本文主要从灌注式半柔性路面路用性能特点、强度形成机理、性能影响因素与结构研究前景进行详细论述。

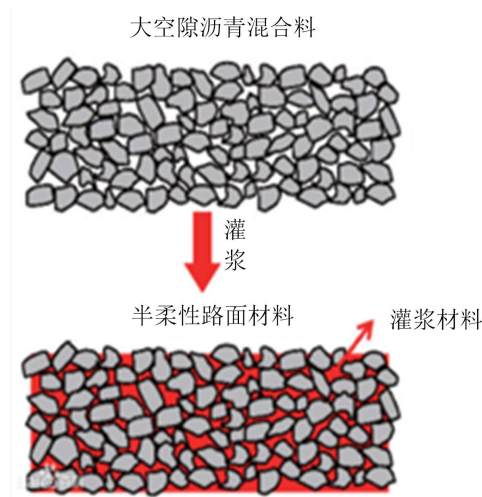


Figure 1. The composition of the perfusion semi-flexible pavement material

图 1. 灌注式半柔性路面材料组成

2. 灌注式半柔性路面性能特点

2.1. 路用性能优势

半柔性复合路面材料由大孔隙基体沥青混合料和填充空隙的胶凝材料组成,通过填充空隙的胶凝材

料的粘结力和基体沥青混合料的粘聚力共同作用，形成一种密实骨架结构，所以半柔性路面性能主要取决于填充空隙的胶凝材料和基体沥青混合料的性能。半柔性沥青混合料具有两方面的路用性能优势：

1) 优良的高温抗车辙性能

无机胶凝材料灌入大孔隙基体沥青混合料之后相对于普通沥青混合料对结构的整体模量提高很多，半柔性路面结构抵抗变形的能力大大加强，温度敏感性降低，表现出优异的抗车辙性能。

2) 防油、酸污染性能提高

半柔性路面结构正常服役之后，路面表层全部由无机胶凝材料包裹，能够阻挡大型车辆漏油、酸性液体等对沥青混合料的腐蚀，很好的保护路面结构完整性。

3) 优良的水稳定性

半柔性路面结构胶凝材料灌注率大于 90%，剩余连通空隙率很小，路面结构完全不渗水，使用特殊配方的灌浆材料之后路面吸水率极低，水完全不能进入混合料内部，所以半柔性路面材料具有优良的水稳定性。

4) 具有装饰美化环境作用

胶凝材料着色剂可以根据需求选择不同颜色，按照不同通行要求铺筑彩色半柔性路面，有针对性的引导渠化交通，颜色与周围环境相搭配使用起到装饰美化环境作用。

2.2. 存在的病害类型

灌注式半柔性路面由于施工工艺和材料自身的原因，导致结构层出现平整度不佳，表面出现微裂纹，横向反射裂缝，松散坑槽等不良病害发生[11]。

1) 平整度不佳

半柔性路面施工需要提前铺筑大孔隙基体沥青混合料，待沥青混合料碾压完成完全冷却之后再灌注胶凝材料。由于基体沥青混合料级配较粗、细集料较少、沥青含量较低、温度散失较快、碾压遍数较少，给碾压施工增加不少难度，不允许重复碾压的前提下既要保证混合料孔隙率满足要求又要保证平整度，往往是牺牲平整度保证施工质量。再就是灌浆过程中施工机械对基体沥青混合料的碾压扰动也会造成平整度不佳。

2) 表面裂缝

无机胶凝材料灌注之后，由于灌浆时气温变化较大及不规范的养生造成温差变化、湿度变化较大而引起胶凝材料凝结时间的延长，导致灌浆料表面泌水严重，表层水胶比变化较大，凝结硬化之后表面出现微裂纹。有研究表明，此类微裂纹仅仅出现在表层泌水严重部位，不是贯穿裂纹，对半柔性路面使用性能没有明显影响，仅造成路面的不美观。

3) 横向反射裂缝

通过铺筑的多条试验路段观测发现，半柔性路面结构直接铺筑在水稳之上很容易产生贯通的反射裂缝。由于半柔性路面材料脆性较大，不宜直接铺筑在半刚性基层之上，在其下承层设置柔性基层用于吸收反射应力，对半柔性路面防止出现反射裂缝具有较明显的效果。通过铺筑下承层为密级配沥青混合料和大粒径柔性基层沥青混试验段，验证了半柔性路面结构良好的路用性能。

4) 松散坑槽

通过对铺筑的半柔性路面试验路段多年的跟踪观察发现，局部位置会出现松散或者坑槽，造成局部损坏的原因是基体沥青混合料现离析，胶凝材料流动性较差不能达到要求的灌注率，混合料整体粘结强度不足，重载交通作用下较易出现松散坑槽病害。

3. 灌注式半柔性路面强度形成机理

灌注式半柔性路面作为复合材料，由沥青与胶凝材料组成，因此是一种处于水泥混凝土路面与沥青混凝土路面性能之间的材料，同时拥有两种材料的优点[12]。

从胶体理论分析，灌注式半柔性复合路面材料是一种多级填充空间网络嵌挤结构的分散体系。在该分散体系中，以水泥基灌浆材料水化形成的钙矾石晶体结构与沥青材料的凝胶结构，两者相互交联形成多重网络结构系，表现出较大的填充密实性和较高的粘聚力及内摩擦力。一方面，由于灌注式半柔性复合路面材料中 90% 以上连通空隙被水泥基灌浆材料所填充，阻断了大孔隙基体沥青混合料之间的相互交联，水泥基灌浆材料感温性能较低，从而降低了沥青类柔性材料表现出的温度敏感性。另一关键方面，灌注式半柔性路面可以根据周围环境不同需要改变路面颜色，相较于普通黑色沥青混合料吸热峰明显降低，使灌注式半柔性复合路面结构内温度梯度变小，路面结构内部温度应力显著降低。大孔隙基体沥青混合料由粗集料嵌挤形成，其混合料热胀系数大大降低。灌注式半柔性复合路面材料被沥青与水泥基胶凝材料复合包裹，使得其本身具有黏弹性，对收缩和膨胀具有一定的缓冲作用。相对于刚性或半刚性路面结构就可以不设或少设伸缩缝，对行车安全性与舒适性有明显改善。

沥青与集料之间的相互裹附作用，复合水泥基灌浆材料水化后形成的晶体结构与沥青膜的相互耦合作用，以及复合水泥基灌浆材料硬化后形成的钙矾石结构对沥青包裹的集料进行直接裹覆作用是灌注式半柔性路面材料强度形成的决定性因素，复合水泥基灌浆材料的性能直接关系到灌注式半柔性路面材料的劈裂强度、动稳定度、水稳定性、耐久性等一系列重要路用性能指标(表 1)。

Table 1. Technical indicators of pouring semi-flexible pavement materials

表 1. 灌注式半柔性路面材料技术指标

试验项目	单位	技术要求
灌浆饱满度	%	≥95
稳定度	kN	≥15
动稳定度	次/mm	≥20,000
残留稳定度	%	≥90
冻融劈裂强度比	%	≥80
低温弯曲试验, 破坏应变 ϵ_B (-10°C)	$\mu\epsilon$	≥1800
构造深度 TD	mm	≥0.5

4. 灌注式半柔性路面性能影响因素

灌注式半柔性复合路面是由大孔隙基体沥青混合料和复合水泥基灌浆材料组成的复杂多相体，具有优良的重载抗车辙性能兼顾柔性路面行车舒适性优点，灌注式半柔性路面性能受到其自身结构与材料组成及气候条件三方面影响[13]。

1) 灌注式半柔性复合路面结构的骨架是大孔隙基体沥青混合料，大孔隙基体沥青混合料矿料级配组成、沥青结合料粘度、集料与沥青粘附性与添加剂类型等都会对大孔隙基体沥青混合料的强度和刚度产生较大影响。大孔隙基体沥青混合料的连通空隙率一般设计都在 25% 以上，混合料级配骨架按照开级配类型进行设计，使其形成真正意义上的骨架嵌挤结构。组成骨架结构的粗集料必须具有多个破碎面、粒型近似立方体以及与沥青具有良好的粘附性，集料之间能相互嵌挤从而形成较高的抗剪强度。大孔隙基体沥青混合料主要依靠沥青胶浆与粗集料的粘结性而形成抗拉强度，一般选用高粘度沥青作为粘结料。

SBS 改性沥青作为沥青混合料常用胶结料, 相对于大孔隙骨架嵌挤结构混合料沥青粘度要求更高, 往往需要掺加沥青高黏剂增加沥青韧性。聚酯纤维能够起到加筋作用增强大孔隙混合料骨架强度, 与此同时能够增加沥青用量, 沥青用量增加能够直接提高混合料整体柔性增强灌注式复合路面低温条件下抗开裂性能, 改善行车舒适性。

2) 复合水泥基灌浆材料的性能直接关系到半柔性路面结构的路用性能, 复合水泥基灌浆材料强度与配方组份、水胶比和养生条件等因素有关。水泥基灌浆料须具有良好的和易性, 即良好的施工流动度, 加水搅拌均匀的灌浆料主要依靠自重借助外部震动力能够顺利填筑饱满基体沥青混合料连通孔隙率; 复合水泥基灌浆料具有足够的力学性能, 抗压强度与抗折强度能够保证养生之后半柔性路面结构具有足够的结构承载能力; 复合水泥基灌浆料具有较小的收缩性能, 通过添加补偿性收缩材料与降低早期水化热材料, 达到降低水泥水化热造成的温度不均和失水较快造成的早期裂缝; 水泥基灌浆料水化产物与基体沥青混合料具有良好的粘结性能, 通过添加有机界面粘剂增强两者之间的界面粘结性能, 使其能够协调变形; 复合水泥基灌浆材料加水搅拌之后需要保证体系均匀性, 通过添加有机增粘剂能够达到体系均匀不分层, 保证施工和易性。

3) 灌注式半柔性路面结构性能与养生环境条件、施工工艺等直接相关。大孔隙基体沥青混合料碾压工艺直接影响混合料骨架结构, 通过调整不同的碾压工艺确定最佳的施工工艺, 保证混合料孔隙率达到设计要求骨架嵌挤结构最强。复合水泥胶浆灌浆料加水搅拌开始水化体系发生化学反应, 化学反应速度需要与灌注速度相匹配, 连通孔隙率灌注饱满之后灌浆料需要快速发生化学反应提高强度, 水泥水化遵循一般的化学反应规律, 即温度升高, 水化加快, 早期强度满足设计要求即可开放交通, 保证城市养护项目快速开放交通要求。

5. 灌注式半柔性路面研究展望

1) 针对灌注式半柔性路面配合比设计和路面结构设计方法存在的问题, 需进一步对半柔性复合路面材料的组成及路用性能进行试验、研究, 提出一套专门适用于半柔性复合路面材料与结构的设计方法和评价体系; 另外, 对于半柔性灌浆材料流动度评价方法, 使用孔道压浆料流动度评价方法不能够精确计量灌浆料流动性, 需要提出一种能够精确计量灌浆料流动性的试验方法; 其次, 半柔性灌浆材料强度指标大小, 应该依据交通荷载情况分等级设计, 确定材料最优搭配。

2) 对半柔性复合路面的性能评价建议采用室内试验和室外试验相结合的方法, 使性能研究结果更加符合实际工程的需要。

3) 半柔性路面灌浆施工设备与工艺需要进一步深入研究, 制浆设备需要能够连续制浆保证不间断灌注, 并且制浆过程中不产生环境污染没有机械作业盲区等危险源。挂浆工艺连贯, 设备与人工配合紧密, 成品路面灌浆密实均匀、构造深度满足要求, 外观均匀美观。

6. 结语

1) 灌注式半柔性路面兼具水泥混凝土与沥青混合料优点, 具有良好的抗车辙、水稳定性、防污染性能, 但是自身也存在抗裂性能不足、施工工艺不成熟等弊端, 还需要更进一步研究其强度形成机理与施工质量控制。

2) 半柔性路面材料性能主要由基体沥青混合料和灌浆材料两者自身性能决定, 外界养生条件为必备辅助性强度形成条件。考虑到半柔性路面材料整体的抗裂性能, 还需要从基体沥青混合料性能与灌浆料性能分别入手, 深入研究两者界面粘结性能, 达到良好的协同变形效果。

参考文献

- [1] 王巍, 黄会明, 魏如喜, 等. 半柔性路面用灌注式水泥胶浆的配比优化设计原则[J]. 公路交通科技, 2017, 35(5): 35-41.
- [2] 吴国雄, 张洋, 王爱民, 等. 半柔性路面高温稳定性实验研究[J]. 重庆交通学院学报, 2007, 26(1): 52-55, 121.
- [3] 钟科, 陈波, 蒋恩贵, 等. 灌注式半柔性路面材料研究与应用综述[J]. 中外公路, 2017, 37(10): 23-27.
- [4] 赵之杰, 董营营, 凌天清. 高性能半柔性路面在路面改造工程中的应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2008(10): 50-52, 62.
- [5] 张桂铭, 杨正涛, 陈龙江, 等. 快凝型半柔性路面特重载二级公路中的运用[J]. 公路交通科技应用技术版, 2016, 12(5): 186-188.
- [6] 黄芳, 吴国雄, 王燕, 等. 半柔性路面复合材料抗压回弹模量研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2008, 27(1): 65-68, 133.
- [7] 程磊, 郝培文. 半柔性路面用水泥胶浆的配比[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2002, 21(4): 1-4.
- [8] 张荣鹏. 高性能灌注式半柔性路面材料的研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [9] 董营营. 高性能半柔性路面设计参数及施工工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2008.
- [10] 覃峰, 唐银青, 韦红教, 等. 沥青混合料基灌注式半刚性路面材料设计与性能试验研究[J]. 公路, 2017, 62(2): 179-187.
- [11] 吴博, 氧化镁膨胀剂对半柔性路面材料性能的影响[J]. 北方交通, 2020(7): 63-66.
- [12] 王黎明, 隽海文. 苯丙乳液改善灌入式半柔性路面材料性能的试验研究[J]. 公路交通科技, 2021, 38(1): 27-32.
- [13] 孙雅珍, 程媛媛, 等. 半柔性路面材料配合比设计及性能研究[J]. 混凝土, 2019(9): 124-131.