

灌入式复合路面施工及实际应用效果研究

孙晓旭¹ 王新鑫² 凌 静²

1 泰州市姜堰区交通运输局 江苏 泰州 225500

2 江苏天润检测有限公司 江苏 泰州 225500

【摘 要】本文主要介绍了一种新型的灌入式复合路面施工的概念，这种方法主要是针对交叉路口和重载交通路面的一些车辙和推移病害比较严重的现象所提出来的。本文针对江苏省某一段路的实际情况，从路面的原材料混合比着手，对灌入式复合路面的施工情况和实际应用效果进行研究。为了验证灌入式复合路面应用的有效性，通过弯沉检测对路的承载能力进行了比较研究，结果表明了灌入式复合路面的使用寿命长，对项目有积极影响。

【关键词】灌入式复合路面；施工；实际应用；效果

灌入式复合路面是一种新型的施工结构，是一种基于大型空隙路面（水泥砂浆的空载率超过 20%）的复合路面，具有沥青和水泥路面的性能。因为填充的是刚性的水泥砂浆，整个道路具有很高的抗变形性，适用于承重高的交通、渠化的交通和交叉路口的交通道路，可以获得出色的抗车辙效果。灌入式复合路面包括两个施工阶段：较大间隙的沥青混合料和砂浆灌入，过程有点复杂，保证施工质量是施工成功的关键。接下来将针对江苏某段道路护坡工程的实际情况，分析了灌入式复合路面的组成、施工技术和质量控制要点。

1 姜堰区天目西路（上海路－广州路）改造工程概况

泰州市姜堰区天目西路改造工程，该路线始于上海路的交界处，并沿着现状天目路向西延伸铺设，穿过杭州黄路、南京路、金湖路、苏州路、泰州路、寿圣路和石黄路，穿过新建桥梁上跨靖盐高速公路桥，然后和科技路平面交叉，最后与广州路交叉。具体的桩号为 K0+000-K5+543374，路线长度为 5543 公里。

设计在溱湖大道交叉口右幅停车线向后 100m 范围内 AC-20 沥青下面层采用灌入式复合路面 GRAC-20，设计的总工程量约 4500km²。

2 配合比设计

设计包括三个阶段：目标配合比、生产配合比设计和生产配合比的验证阶段。

2.1 灌入式复合路面混合料技术标准

2.1.1 基体沥青混合料

沥青路面的配合比要符合表 1 级的分类要求，沥青混合料的技术要求必须符合表 1 的要求。

设计 AC-20 基质沥青混合料的油石比率为 3.0%，空隙比率为 23.4%，水泥砂浆配比水泥：水=1：0.7。有关更多

信息，请参见混合比报告。

表 1 基体沥青混合料级配范围

混合料类型筛孔尺寸 (mm)		通过质量百分率 (%)	
GRAC-13		GRAC-20	
通过质量 百分比 (%)	26.5	--	100
	19.0	--	90 ~ 100
	16.0	100	60 ~ 90
	13.2	90 ~ 100	30 ~ 60
	4.75	10 ~ 30	7 ~ 24
	2.36	5 ~ 22	
	0.6	4 ~ 15	
	0.3	3 ~ 12	
	0.15	3 ~ 8	
	0.075	1 ~ 6	
灌入材料的最大渗透深度（路面结构层厚度）(cm)		5	10

表 2 基体沥青混合料指标要求

试验项目	单位	技术要求
击实次数	次	双面 50
空隙率	%	20~28
马歇尔稳定度	kN	>3.0
流值	0.1mm	20~40
谢伦堡沥青析漏试验	%	≤0.3
肯塔堡飞散试验	%	≤30

注：空隙率采用体积法进行测试。

2.1.2 灌入材料

填充材料是水泥、细骨料、矿粉、水。其性能必须满足表 3 的技术要求。

表 3 灌入材料技术指标要求

试验项目	单位	技术要求
流动度	s	10~14
抗折强度 (7 天)	MPa	≥2.0
抗压强度 (7 天)	MPa	10~30

本项目复合胶料采用工厂化成品超早强复合胶料, 常温下 3h 强度可达 10MPa~20MPa, 施工完成后 1~3 小时开放交通。现场按复合胶料: 水 =1 : 0.5 加水搅拌^[2]。

2.1.3 灌入式复合路面混合料性能验证

基体沥青混合料注入材料的设计完成后, 应通过将灌入的设计材料均匀注入沥青混合料中进行蒸馏, 混合料必须满足表 4 中的一般技术要求。

表 4 灌入式复合路面混合料技术指标要求

试验项目		单位	技术要求
灌浆饱满度		%	≥96
稳定度		kN	≥9
性能 验证	动稳定度	次 /mm	≥10000
	残留稳定度	%	≥85
	冻融劈裂强度比	%	≥80

2.2 灌入式复合路面混合料试件室内成型要求

灌入式复合路面成型过程包括几个步骤, 例如模具制造、灌入材料生产、灌浆、养生扶手, 硬化等, 每个步骤对后续注射过程的性能都有很大影响, 需要按照下列步骤成型。

(1) 沥青配准的形成必须按照《沥青与沥青混合料道路技术规则》的相关试验要求进行, 并且在成型前进行称重。

(2) 形成基体沥青后, 让试件完全冷却, 并使用定量方法测试基体沥青。当相关要求完成后, 将试件和试模一起进行灌浆试验。

(3) 根据灌浆材料设计的结果, 按比例混合灌入材料。

(4) 将试件和试模放在振动台上, 首先按照中心和立柱的原理将材料插入试件中。当插入的材料从测试面的末端流出时, 打开振荡器 30s 进行振动灌浆。振动后, 再次灌入材料, 重复振动过程, 直到灌入的材料没有明显的高度。用多于样品的填料清洗填充物后, 评估在灌入样品之前和之后的质量变化, 计算样品的注射端, 摒弃不合格的。

(5) 在进行具有相关要求的与测试物质有关的测试工作之前, 应在正常固化条件下 (温度 1℃, 20℃, 湿度 90%) 固化 7 天。

2.3 灌入式复合路面混合料目标配合比设计

2.3.1 原材料试验

根据该项目目前使用的材料, 比对《沥青和沥青混合技术测试规则》《技术骨料测试技术》《混凝土和混凝土测试规则及相关条件》获得各种原材料的配合比。为了确保质

量, 我们需要检查原材料, 例如沥青、轧制、矿物粉、水泥、沙子等。

2.3.2 基体沥青混合料设计

(1) 目标混合比的设计应首先基于表 1 中的质量要求。原始、中等和精细等级的基本选择是选择初始岩石分析, 并使用样品进行孔隙度和稳定性测试。根据测试结果和经验, 选择一个作为目标配合比。

(2) 根据第一次配合比对比测试, 专门进行沥青过滤测试和 0.3% 测试样本 (第一个配合比对比测试)。

根据设计灌浆材料的经验, 灌浆材料的分类取决于测试化合物, 并且必须满足 3 的要求。V_g 的完整性如下计算。

2.3.3 灌入材料设计

根据测试要求表 3 配合整个水泥混合物, 以评估满足表 3 要求的混合物的性能。

$$V_g \frac{(m_2 - m_3)/\rho}{V \times V_v} \times 100$$

式中: V_g—灌浆饱满度, %;

m₂—灌浆前试件重量, g;

m₃—灌浆后试件重量, g;

ρ—灌入体密度, g/cm³;

V—试件体积, cm³

V_v—基体沥青空隙率, %。

2.3.4 灌入式复合路面混合料性能验证

对于混合设备, 进入第二热堆的矿物质含量必须在第二次筛选后丢弃, 根据筛选结果计算出的混合顺序应根据路面进行设计和分类。分配间隔的确定用于确定混合器控制面板中每个储热器中使用的物料比例, 同时要对冷却室进行反复调节以达到平衡的供应。同时, 选择合适的筛网尺寸和安装角度, 并尝试平衡每个热物料的存储供应^[3]。

2.4 灌入式复合路面混合料生产配合比设计

2.4.1 基体沥青混合料设计

(1) 对于基体混合设备, 进入第二热堆的矿物质含量必须在第二次筛选后丢弃。根据筛选结果计算出的混合顺序应根据基体的混合物设计和分类, 分配间隔的确定用于确定混合器控制面板中每个储热器中使用的配合比。对冷却室进行反复调节以达到平衡的供应, 同时, 要选择合适的筛网尺寸和安装角度, 并尝试平衡每个热物料的存储供应。

(2) 测试了中间石料和目标混合比的最佳比例为 0.3%, 并且摊铺设计和沥青配合比主要由表 3 中的空隙率和泄漏指数决定, 预期百分比可能与目标的最佳配合比不匹配。如果差异不超过 0.2 个百分点, 则应测试混合比, 并使用通过运行混合测试确定的最佳配合百分比来停止或混合测试。如果差异超过 0.2 个百分点, 则应通过测试和试验以确定原因, 并确定沥青与水泥混合试验之间的配比关系。

2.4.2 灌入材料生产设计

根据材料与目标混合物的比例进行测试, 以从建筑物

中移除材料,其性能必须满足表3的要求。如果不满足要求,则该比例是不合适的。

2.4.3 灌入式复合路面混合料性能验证

根据有关规定的灌入材料测试要求的性能验证性能,根据记录沥青的方法和生产混合方案的建议,必须将其扩展到复合路面的测试实验,以满足表4的要求。

2.5 生产配合比验证

2.5.1 基体沥青混合料生产配合比验证

将沥青混合比用于与要用于样品混合物中的沥青混合物有关的样品沥青混合物进行性能测试,并评估混合矿物产品的混合物,标准是由沥青的混合比确定的。

2.5.2 灌入材料生产配合比验证

使用现场混合设备,根据指定的灌入材料,进行性能测试,以确定每种材料在正常制造过程中的平均值。

3 施工工艺

建立填充复合涂料的过程非常复杂,主要分为砂浆水泥的制备、混合沥青基体的表面处理和维持等。

3.1 基体沥青混合料施工

沥青路面的制造过程与常规沥青混合料相同,时间和温度控制要求与常规沥青路面相同。但是,其较大的真空非特异性与常规沥青路面制造过程有所不同。

3.1.1 基体沥青混合料的生产

基体沥青混合物的骨架是空心的,占总量的80%以上。在制造过程中要检查每个料仓的供应平衡,适当增加原始累积混合料的数量,以提高工作效率。在实际应用中,从两个冷喷嘴分别提供一种或两种材料,既防止了从田间清除灰尘,并且多余的灰尘被压向混合过程。

3.1.2 基体沥青混合料的运输

考虑到一些细骨料与沥青混合料混合的实际情况,因为温度的原因,混合料的质量可能会下降。在混合物的运输过程中,必须进行绝热步骤。特别是,必须覆盖上围板,以使沥青混合物的温度降低。

3.1.3 基体沥青混合料的摊铺

表5 基体沥青混合料的碾压方案

碾压阶段	碾压速度 / (km · h ⁻¹)	碾压遍数
初压	2~4	前静后振 1
复压	3~4	遍静压 2~3
终压	3~6	遍静压 1 遍

结合实际情况碾压时必须注意以下事项:

- (1) 不建议使用橡胶轮胎以防止摩擦;
- (2) 如果温度过低,则必须在不超过 80℃ 的温度下完成旋转,以防止双重作用损坏基材的结构,并影响摊铺质量;
- (3) 不能减少多个步骤来加快道路开挖速度;
- (4) 需要隐藏碾压标记。

3.2 灌浆施工

灌入材料施工见图1。



图1 灌入材料施工现场

3.2.1 灌入水泥砂浆设计要求

抗车辙型灌入复合路面的材料由水泥,细骨料,水,混凝土外加剂组成。该项目使用水泥砂浆,而胶结料为二氧化硅水泥,矿粉和细沙。根据灌浆的有效性和复合材料的强度,适用于灌入式复合材料的高效果水泥砂浆应具有以下特性:高抗压强度和抗折强度,水泥砂浆体积小,沥青材料具有非常好的粘结力。为了满足上述要求以结合实验室测试的结果,本文提出了适用于抗车辙型灌入式复合路面的水泥砂浆性能的关键指标(见表6)。

表6 灌入式复合路面用水泥砂浆的主要性能指标

指标	要求
流动度 / s	10 ~ 14
抗折强度 (7 天) / MPa	≥ 2.0
抗折强度 (7 天) / MPa	10 ~ 30

水泥灌浆材料通过沥青混合物的空隙注入到基体沥青混合物的底部,沥青混合物的连续空隙的横截面面积小,并且道路弯曲,在工程中为了达到灌浆效果,要确保水泥砂浆具有一定的流动性。国内外许多研究学者根据实际应用效果和方法来评估水泥砂浆的流动性,而测定设备主要是流动度仪,它是对水泥砂浆流动性进行评估的设备,由漏斗和支架构成,漏斗顶部开口的直径为 178 mm,下部开口的内径为 13 mm,排出管的长度为 38 mm,内部总容量为 1725 ml。通过测量水泥砂浆在漏斗中的流出时间来评估砂浆的流动性。沥青混合物提供骨架-空隙的嵌挤结构,并用于支撑复合材料,灌浆材料的主要作用是为了对基体沥青混合物中的空隙进行填充,以形成致密的结构,并增加了复合材料的强度,以确保复合材料的抗疲劳性,耐久性和高温稳定性。如果灌浆效果差,则在灌浆之后的混合材料中将有更多的空隙。当承受外部载荷时,空隙周围硬化后材料的强度会增加,从而使空隙与材料之间的界面更容易产生集中应力,如果空隙增加,那么应力集中也会增加,导致复合材料在载荷作用下会发生微裂纹,然后进一步成为宏观的路面裂纹,另外,由于灌浆不足而产生的许多空隙会导致水,油和其他物质的侵蚀,导致复合材料的耐用性较差。因此,无论是内部试件

还是实际工程,都必须确保灌入材料在空隙中的灌入程度,因此,提出灌入式复合路面混合材料的灌浆饱满程度(定义为灌浆饱满度)通过对这个指标来评估灌浆效果。灌浆饱满度按下式计算。

$$V_g = \frac{(m_2 - m_1)/\rho}{V \times V_v} \times 100$$

式中: V_g 为灌浆饱满度, %; m_1 为灌浆前试件重量, g; m_2 为灌浆后试件重量, g; ρ 为灌入体密度, g/cm³; V 为试件体积, cm³; V_v 为基体沥青空隙率, %。

3.2.2 灌入材料的灌注

混合水泥砂浆完成后,进行关注。在室温下冷却沥青混合物后,将其倒入研钵中。将水泥浆放在沥青混合料板上,并使用一块平板来振动灌浆。由于振动式钢制压实机的滚动表面较轻,因此可以容易地通过振动分解基础沥青的骨料。

3.2.3 表面处理及养护

由于砂浆中含有液体,基体的沥青会填满形成水泥的死层并保留在表面上。如果不去除,将会直接影响结构层的摩擦。灌注水泥砂浆时,必须及时进行表面处理,以确保其一致性。

4 后期跟踪检测

为了控制有效使用所包装化合物的有效性,添加了 GRAC-20 抗红水 AC-20 实验部分,以比较和分析后期观察到的两个部分。

4.1 路面外观

在调查部分,发现有许多大型汽车拥堵,路面上交通拥挤的现象。同时,该地区夏季温度很高,尤其是在八月和九月,最高温度超过 35℃。根据观察,使用 GRAC-20 复合涂层,该路段的整个路面状况良好,未发现裂纹或其他病害,并且在操作过程中确保了有争议的安全性和舒适性。代理道路的相邻部分很简单,更确定的根出现混乱,最深可以达到 3.5cm。

4.2 FWD 检测

FWD 检测是世界包装的最新无损检测设备。为了比较和评估有效载荷水泥和抗根结胶的负载能力和抗裂性,我们使用了 2 条轨道上的流量计分解。表 7 显示了重复包装的上

层和下层的动态模量检测结果。

根据测试结果,与普通的公路路面相比,开放 2 年后的内置复合路面构造层具有更高的承载能力和良好的抗变形能力。这表明在相同条件下灌入式复合路面具有改善的承载能力和强度的作用,从而可以有效地改善道路的性能^[4]。

5 灌入式复合路面施工的实际应用

5.1 基体沥青混合料摊铺

铺设沥青路面的过程与传统的沥青路面基本相同,在铺设的速度,温度和距离时必须严格控制。由于沥青路面更紧密地结合在一起,因此应特别注意沥青路面中沥青混合料摊的系数。根据现场测试的结果,松铺系数控制在 1.10 左右为宜。

5.2 基体沥青混合料碾压

用于 5 灌入式复合路面的复合材料是通过将沥青与骨料的混合物混合而制成的水泥结构。在沥青混合料中铺设大孔时,必须仔细检查型腔结构的质量并选择合适压实机械和碾压次数。

5.3 灌入材料的灌入

灌入式复合路面要求各工序之间的衔接要更加迅速、紧凑。结合相关经验,灌入材料的灌入可参考以下施工工序进行。

(1) 现场可安装混凝土搅拌机,4 台小货车,3 台平板夯和 1 台洒水车。

(2) 灌浆时,应将灌入材料在大空隙基体沥青混合料铺装层表面反复摊铺,并使其自然漫透。当路面有纵向坡度时,从低处向高处撒铺砂浆,防止灌入材料因为快速流动造成不良渗透效果。

(3) 对于现场出现灌入不顺利的地方,立即加强振动。凡灌入材料流到的地方,要马上振动,避免灌入材料在表面凝固,阻塞基体沥青中孔隙。

6 结束语

该文结姜堰区天目西路(上海路-广州路)改造工程,进行了灌入式复合路面的设计和施工的研究,通过对这种路面和常规路面的数据对比分析,证明了其有用性。结果表明,

表 7 路面动态模量检测结果

路段类型	位置	检测次数	上面层模量检测结果		下面层模量检测结果	
			代表值 /MPa	偏差系数 /%	代表值 /MPa	偏差系数 /%
灌入式复合路面	段鹤城北路	第一次	5490	14.8	7096	11.2
	路口右幅	第二次	5058	10.7	6732	10.1
	段鹤城北路	第一次	5294	11.5	5262	19.4
	路口左幅	第二次	5294	9.9	6122	13.8
加抗车辙剂路面	陈涛路路口	第一次	2970	25.0	3550	19.4
	右幅	第二次	2940	10.1	2802	19.9
	陈涛路路口	第一次	2094	9.3	2684	22.3
	左幅	第二次	2234	17.6	2742	8.4

灌入式复合路面可有效改善路面的承载能力和良好的抗变形能力, 延长路面使用寿命。这是一种新型的道路, 在技术上可行, 并且具有出色的道路性能。

【参考文献】

- [1] 陈文武. 灌入式复合路面力学性能研究 [J]. 四川建材, 2019, 45(07): 115-116.
- [2] 朱宏亮. 浅谈灌入式复合路面设计流程及施工工艺 [J]. 现代交通技术, 2019, 16(01): 23-25.
- [3] 严青苗, 张磊. 灌入式复合路面技术应用研究 [J]. 公路交通科技 (应用技术版), 2018, 14(05): 80-83.
- [4] 王宏捷, 王鹏. 灌入式复合路面施工及实际应用效果研究 [J]. 公路与汽运, 2017(01): 104-106.