

灌入式半柔性复合路面应用技术规范

Technical specification for application of grouting semi-flexible composite pavement

2023 - 12 - 28 发布

2024 - 01 - 28 实施

目 次

前言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 复合路面结构组合设计 4

5 材料 4

 5.1 一般要求 4

 5.2 基体沥青混合料 4

 5.3 灌浆粉料 4

 5.4 灌注浆体 5

6 混合料 5

 6.1 基体沥青混合料 5

 6.2 灌浆复合混合料 6

7 施工 6

 7.1 一般要求 6

 7.2 基体沥青混合料施工 7

 7.3 灌注浆体制备 7

 7.4 灌注浆体灌入施工 8

8 质量管理与验收 8

附录 A（规范性） 灌浆复合混合料室内成型方法 10

 A.1 试验仪器 10

 A.2 试件成型 10

附录 B（规范性） 灌注浆体流动度试验 11

 B.1 试验仪器 11

 B.2 试验步骤 11

附录 C（规范性） 灌浆饱满度测试方法 12

 C.1 测试仪器 12

 C.2 测试方法 12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

灌入式半柔性复合路面应用技术规范

1 范围

本文件规定了灌入式半柔性复合路面的材料、设计、施工与质量验收等技术要求，描述了对应的证实方法。

本文件适用于各等级道路的重载交通路段，以及疏港和矿区道路、收费广场、服务区等易产生车辙的路面工程。

2 规范性引用文件

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

GB 175 通用硅酸盐水泥
GB/T 2419 水泥胶砂流动度测定方法
GB/T 14684 建设用砂
GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
JTG D50 公路沥青路面设计规范
JTG E20 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
JTG 3450 公路路基路面现场测试规程
JTG/T 5142—01 公路沥青路面预防养护技术规范
JT/T 533 沥青路面用纤维

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

灌浆粉料 grouting material

由水泥、掺合料、砂、外加剂按照一定比例配制而成的粉状材料。

3.2

灌注浆体 grouting material mortar

由灌浆粉料（3.1）和水按照一定比例配制而成的材料。

3.3

基体沥青混合料 matrix asphalt mixture

用于灌入灌注浆体（3.2）的空隙率为20%~28%的沥青混合料。

3.4

灌浆复合混合料 grouting composite mixture

在基体沥青混合料（3.2）内灌入灌注浆体（3.2）形成的混合料。

3.5

灌入式半柔性复合路面 grouting semi-flexible composite pavement

在柔性基体沥青混合料（3.2）中，灌浆复合混合料（3.4）经养生达到一定强度要求而形成的复合路面。

3.6

连通空隙 connected void

在沥青混合料内部结构中，由集料不能彼此完全搭接而形成的相互连通的空隙。

注：连通空隙通常包括全连通空隙和半连通空隙。

3.7

灌浆饱满度 grouting plumpness

灌注浆体（3.2）占基体沥青混合料（3.2）中连通空隙（3.6）的体积百分率。

4 复合路面结构组合设计

4.1 灌入式半柔性复合路面结构组合设计应综合考虑道路等级、交通状况、下承层类型和结构功能要求等因素，按照 JTG D50 的要求进行设计，宜按永久变形指标进行控制。

4.2 灌入式半柔性复合路面结构组合设计时，宜采用密级配沥青混合料或沥青碎石封层作为灌浆复合混合料的下承层。

4.3 在平交道口转向车道，灌浆复合混合料宜作为中、下面层。

4.4 灌浆复合混合料作为中、下面层时，与沥青上面层的层间宜采用高粘改性乳化沥青作为粘结层。

4.5 灌浆复合混合料层的最小厚度应不小于 6 cm。

5 材料

5.1 一般要求

5.1.1 灌入式半柔性复合路面所用的材料应综合考虑交通荷载、气候条件和结构功能要求等因素进行选择。

5.1.2 灌入式半柔性复合路面材料运至现场后应取样进行质量检验，经评定合格方可使用。

5.2 基体沥青混合料

5.2.1 基体沥青混合料所用的粗集料应洁净、干燥、表面粗糙，宜采用轧制碎石，技术指标应符合 JTG F40 的规定。

5.2.2 基体沥青混合料所用的细集料宜采用机制砂、石屑，技术指标应符合 JTG F40 的规定。

5.2.3 基体沥青混合料所用的填料宜采用石灰岩经磨细得到的矿粉，不应使用回收粉尘，技术指标应符合 JTG F40 的规定。

5.2.4 基体沥青混合料所用的沥青宜为改性沥青，其技术指标应符合 JTG F40 的规定，交通荷载等级为极重、特重等级时，基体沥青混合料宜采用高黏改性沥青，其技术指标应符合 JTG/T 5142—01 的规定。

5.2.5 交通荷载等级为极重、特重等级时，基体沥青混合料宜掺加纤维，所用纤维宜选用木质素纤维、玄武岩纤维、聚合物纤维，掺加量占混合料质量的 0.1%~0.3%。纤维的技术指标应符合 JT/T 533 的相关规定。

5.3 灌浆粉料

5.3.1 灌浆粉料所用的水泥宜选用硅酸盐水泥，强度等级宜为 42.5 级，其技术指标应符合 GB 175 的相关规定。如需提前开放交通，宜在硅酸盐水泥中添加早强剂或使用早强型水泥。

5.3.2 灌浆粉料所用的砂宜选用洁净的河砂，技术要求应符合 GB/T 14684 的规定，颗粒细度宜在 40 目～80 目。

5.3.3 灌浆粉料所用外加剂技术指标应符合 GB 50119 的规定。

5.4 灌注浆体

灌注浆体根据性能不同分为普通型和早强型两类。灌注浆体宜按照附录 A 进行室内制备，物理力学性能应符合表 1 要求。

表1 灌注浆体的物理力学性能要求

项目		单位	性能指标		试验方法
			普通型	早强型	
流动度		s	10~15		附录 B
初凝时间		min	≥45	≥30	JTG 3420 T0505
自由泌水率		%	≤1		JTG 3420 T0528
干缩率	3 d		—	≤0.3	JTG 3420 T0511
	7 d		≤0.3	—	
抗压强度	3 h	MPa	—	≥10	JTG 3420 T0506
	1 d		≥10	≥15	
	7 d		≥20	≥20	
抗折强度	3 h	MPa	—	≥3.0	JTG 3420 T0506
	1 d		≥3.0	≥4.0	
	7 d		≥5.0	≥5.0	

6 混合料

6.1 基体沥青混合料

6.1.1 基体沥青混合料应考虑道路等级、交通量及组成、结构功能特点等综合因素进行配合比设计。

6.1.2 基体沥青混合料级配设计范围应满足表 2 要求。

表2 基体沥青混合料的级配范围

方孔筛孔尺寸 mm	通过质量百分率 %		
	13 型	16 型	20 型
26.5	—	—	100
19.0	—	100	90~100
16.0	100	90~100	60~90
13.2	90~100	70~90	30~70
9.5	20~50	15~50	15~60
4.75	5~25	5~25	5~24
2.36	5~22		

表 2 基体沥青混合料的级配范围（续）

方孔筛孔尺寸 mm	通过质量百分率 %		
	13 型	16 型	20 型
0.6	4~15		
0.3	3~14		
0.15	3~12		
0.075	1~10		
注：“13型”表示该类型基体沥青混合料的公称最大粒径为13.2 mm，“16型”表示该类型基体沥青混合料的公称最大粒径为16.0 mm，“20型”表示该类型基体沥青混合料的公称最大粒径为19.0 mm。			

6.1.3 基体沥青混合料采用马歇尔试验配合比设计方法，技术指标要求应满足表 3 要求。

表3 基体沥青混合料的技术指标要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
击实次数	次	双面 50	JTG E20 T0702
空隙率	%	20~28	JTG E20 T0708
马歇尔稳定度	kN	≥3.0	JTG E20 T0709
流值	0.1 mm	2~4	JTG E20 T0709
谢伦堡沥青析漏试验	%	≤0.3	JTG E20 T0732
肯塔堡飞散试验	%	≤30	JTG E20 T0733

6.2 灌浆复合混合料

灌浆复合混合料宜按照附录A成型，性能指标要求应满足表4的要求。

表4 灌浆复合混合料的性能指标要求

试验项目		单位	技术要求	试验方法
灌浆饱满度		%	≥80	附录 C
马歇尔稳定度		kN	≥9	JTG E20 T0709
性能验证	动稳定度（70℃）	次/mm	≥10 000	JTG E20 T0719
	汉堡试验（20 000 次，50℃），最大变形	mm	≤1.5	AASHTO TP324-04
	冻融劈裂强度比	%	≥80	JTG E20 T0729
	低温小梁破坏应变（-10℃）	μ ε	≥1 200	JTG E20 T0715

7 施工

7.1 一般要求

- 7.1.1 灌入式半柔性复合路面施工应包括基体沥青混合料铺筑和灌注浆体灌注两个阶段，基体沥青路面铺筑施工应满足 JTG F40 的要求。
- 7.1.2 灌入式半柔性复合路面施工前应进行施工组织设计，施工过程中和养生期间不应有车辆通行。
- 7.1.3 灌入式半柔性复合路面施工前应检查基层或下承沥青层的质量，对于裂缝、松散、污染等情况

应处理合格后方可施工。基层与灌入式半柔性复合路面之间应铺筑下封层，下承沥青层与灌入式半柔性复合路面之间应撒布粘结层，施工技术要求应满足 JTG F40 的要求。

7.1.4 灌入式半柔性复合路面不应在气温低于 10℃ 以及雨天、路面潮湿的情况下施工。

7.1.5 灌入式半柔性复合路面所用的灌浆粉料存放应防水防潮。

7.2 基体沥青混合料施工

7.2.1 基体沥青混合料应采用间歇式沥青拌和楼进行拌和。当基体沥青混合料中加入纤维时，干拌时间应不少于 15 s，湿拌时间应不少于 40 s。

7.2.2 基体沥青混合料拌和、摊铺温度应满足表 5 的要求。

表5 基体沥青混合料拌和、摊铺温度

沥青类型	沥青加热温度 ℃	矿料加热温度 ℃	出料温度 ℃	混合料废弃温度 ℃	摊铺温度 ℃
SBS 改性沥青	165~170	175~195	170~185	≥195	≥150
高黏改性沥青	165~175	180~200	170~185	≥195	≥155
当采用其他类型沥青，基体沥青混合料拌和、摊铺温度应满足 JTG F40 要求。					

7.2.3 基体沥青混合料应采用较大吨位的运料车，装料时应采用前、后、中分步装料，减少粗集料离析，在运料车底部和侧面应喷涂隔离剂防止混合料粘结。

7.2.4 基体沥青混合料运输时应采用保温措施，到场温度不应低于摊铺温度。

7.2.5 基体沥青混合料摊铺时，摊铺机应缓慢、均匀、连续不间断地摊铺。松铺系数宜控制在 1.05~1.15，摊铺速度宜控制在 1 m/min~3 m/min。

7.2.6 基体沥青混合料摊铺后，应采用 11 t~13 t 的双钢轮压路机进行静压。初压 1~2 遍，复压 2~4 遍，终压 1~2 遍。碾压温度应满足表 6 的要求，碾压速度应满足表 7 的要求。

表6 基体沥青混合料摊铺、碾压温度

施工温度	温度要求 ℃	
	SBS 改性沥青	高黏改性沥青
初压温度	≥140	≥145
复压温度	≥130	≥130
终压温度	70~80	70~80

表7 压路机碾压速度

压路机类型	初压速度 km/h	复压速度 km/h	终压速度 km/h
双钢轮压路机	2~3	3~4	3~6

7.2.7 基体沥青混合料碾压过程中和碾压成型后，基体沥青路面应表面平整，不应出现轮迹、推挤、油包等现象。

7.2.8 基体沥青混合料施工完成后应检测现场空隙率。

7.3 灌注浆体制备

- 7.3.1 灌注浆体的制备应在现场进行，使用制浆设备，保证施工的连续性、稳定性和高效性。
- 7.3.2 灌注浆体制备流程为先将水加入制浆设备的搅拌锅内，再加入灌浆粉料，搅拌 2 min~3 min。
- 7.3.3 灌注浆体制备完成以后放入储备桶中备用，存储时间不应超过初凝时间。

7.4 灌注浆体灌入施工

- 7.4.1 灌注浆体灌入前，应按照附录 B 进行流动度检测，技术指标应满足表 1 要求。
- 7.4.2 灌注浆体灌入前，应对基体沥青混合料进行封边处理。灌浆过程中浆体不应外漏。
- 7.4.3 灌注浆体宜在基体沥青混合料冷却至 50℃以下进行灌注。灌浆料制作完成后宜在初凝时间内完成灌浆施工。
- 7.4.4 灌入施工时，应按照先横坡、再纵坡，并由低到高的要求进行灌注。灌注完成后，应按照附录 C 要求进行灌浆饱满度检测，灌浆饱满度不小于 80%。
- 7.4.5 灌入完成后，应清面露出表面粗集料颗粒，路面的构造深度应不小于 0.55 mm。
- 7.4.6 当灌浆复合混合料作为中、下面层时，应清除表面浮浆。
- 7.4.7 施工完成后，应对灌入式半柔性复合路面进行养生，养生期间不应有车辆通行。
- 7.4.8 当采用普通型灌注浆体时，半柔性复合路面养生时间应不少于 1 d；当采用早强型灌注浆体时，养生时间宜不少于 3 h。
- 7.4.9 当气温在 10℃~20℃时，宜采用早强型灌注浆体，养生时间宜不少于 4 h。
- 7.4.10 雨季施工时，半柔性复合路面灌浆前后应采取防雨措施。

8 质量管理与验收

- 8.1 灌入式半柔性路面施工前应对材料、设备进行检查，满足 JTG F40 的要求。
- 8.2 灌入式半柔性路面施工过程中，应对基体沥青混合料进行质量控制，应满足表 8

表8 基体沥青混合料施工阶段的质量控制要求

项目		检查频率	质量要求或允许差	检查方法
基体沥青混合料 施工温度	混合料出厂温度	每车料一次	符合表 5、表 6 规定	温度计测定
	运输到现场温度			
	初压温度			
	碾压终了温度			
基体沥青混合料 矿料级配与生产 设计标准级配的 差	0.075mm	逐盘在线检查	±2%	计算机采集数据计算
	≤2.36mm		±5%	
	≥4.75mm		±6%	
	0.075mm	每台拌和楼每天上、下午 各一次	±2%	拌和厂取样，用抽提或燃烧 后的矿料筛分
	≤2.36mm		±4%	
	≥4.75mm		±5%	
基体沥青含量（油石比），与生产配合 比设计的差（%）		逐盘在线检测	±0.3	计算机采集数据计算
		逐盘检查，每天汇总一 次，取平均值评定	±0.1	以每一天作总量检验
		每日每机 2 次（上、下午 各 1 次）	+0.2, -0.2	拌和厂取样，抽提法或燃烧 法

表8 基体沥青混合料施工阶段的质量控制要求（续）

项目		检查频率	质量要求或允许差	检查方法
基体沥青混合料 马歇尔试验	稳定度 (kN)	每日上、下午各 1 次	≥ 3.0	JTG E20 T0709
	流值 (0.1mm)		20~40	
	空隙率 (%)		20~28	
基体沥青混合料现场空隙率 (%)		正常路段: 1 次/200m	20~28	JTG E20 T0708
		交叉口: 1 次/50m		

8.3 灌入式半柔性复合路面施工过程中，应对灌注浆体进行质量控制，应满足表 9 的要求。

表9 灌注浆体质量控制要求

检查项目	检查频率	质量要求	试验方法
外观	随时	无离析、分层现象	目测
流动度	每个路段2次	10 s~15 s	附录B

8.4 灌入式半柔性复合路面施工完成后，应对路面进行质量检查与验收，检查频率及质量验收应满足表 10 的要求。

表10 灌入式半柔性复合路面验收质量要求

检查项目	检查频率	质量要求	试验方法
结构层厚度	正常路段: 1 次/200 m/车道, 交叉口: 1 次/50 m/车道	偏差设计值-5%	JTG 3450 T0912
灌浆饱满度 (%)		≥80	附录 C
渗水系数 (mL/min)		≤60	JTG 3450 T0971
构造深度 (mm)		≥0.55	JTG 3450 T0961
平整度 (mm)		均值≤5	JTG 3450 T0931
灌入式半柔性复合路面用于表面层时, 应进行构造深度和平整度检测, 用作其他层位时, 可不做要求。			
注: 构造深度检测是对灌入式半柔性复合路面表面层抗滑性能的表征。			

附录 A

(规范性)

灌浆复合混合料室内成型方法

A.1 试验仪器

A.1.1 高速搅拌锅：转速100 r/min~2 000 r/min。

A.1.2 刮刀或毛刷。

A.1.3 标准养护箱。

A.2 试件成型

A.2.1 灌浆复合混合料应按照以下步骤进行室内成型：

- a) 灌浆复合混合料应按照 JTG E20 (T 0702) 方法成型基体沥青混合料试件；
- b) 基体沥青混合料静置至冷却，采用体积法测试混合料试件空隙率；
- c) 采用塑料薄膜将试件底部和侧面密封，顶部预留部分薄膜以进行浆体灌注；
- d) 用湿布擦拭搅拌锅和搅拌叶，首先按照灌注浆体的配比加入全部用水量，然后以 200 r/min 搅拌状态下逐渐加入灌浆粉料，最后以 1 000 r/min 的速度搅拌 5 min 后停止；
- e) 将灌注浆体倒入马歇尔试件表面，依靠其自重作用流入基体沥青混合料的骨架空隙中，直至完全无法渗透为止；
- f) 将试件表面多余的浆体用刮刀或毛刷刮除后，称量试件灌入前后质量变化，按公式 (C.1) 计算出试件的灌浆饱满度，对灌浆饱满度不合格的试件将作废处理。

A.2.2 灌浆复合混合料成型后，应在温度20℃±1℃，湿度90%的养护条件下进行养生。

附 录 B
(规范性)
灌注浆体流动度试验

B.1 试验仪器

B.1.1 流动度仪：仪器上端内径178 cm，下端内径13 cm，流出管长38 cm，容量为1 725 mL。

B.1.2 电子天平：量程5 kg，感量0.1 g。

B.1.3 秒表：精度0.1 s。

B.2 试验步骤

B.2.1 测定前应按照GB/T 2419对流动度仪进行标定，并对仪器内壁进行冲洗。

B.2.2 仪器标定完成后，应按照附录A制作灌注浆体。

B.2.3 将制作好的灌注浆体，倒入流动度仪内，并先让适量灌注浆体从流出管流出，然后关闭开关，再向漏斗内注入灌注浆体，直至浆体表面达到规定（1 725 mL）刻度线为止。

B.2.4 释放开关，从灌注浆体流出的同时开始计时，直至连续流出的灌注浆体完全流出瞬间计时，读出该瞬间的时间，精确至0.1 s，即为该材料的流动度。

B.2.5 同一配合比的灌注浆体应进行平行试验3次，取其算术平均值即为最后结果。

附 录 C
(规范性)
灌浆饱满度测试方法

C.1 测试仪器

C.1.1 电子天平：最大称量在3 kg以下时，感量不大于0.1 g；最大称量在3 kg以上时，感量不大于0.5 g。

C.1.2 游标卡尺。

C.2 测试方法

C.2.1 同一试件应做平行试验，以平均值作为试件的检测结果。超过平均值20%的数据视为非正常数据，计算时剔除非正常数据后的有效数据不应低于3个。

C.2.2 灌入式半柔性沥青混合料的室内试件的灌浆饱满度测试步骤如下：

- a) 按照 JTG E20 (T 0702) 成型基体沥青混合料试件，并称量灌浆前试件质量 m_1 ，同时测出基体沥青混合料的最大理论密度 γ_t 。
- b) 采用游标卡尺量测试件的高度和直径，计算出试件的体积 v ；
- c) 按附录 A 试验方法对试件进行灌浆操作，拆除塑料薄膜后称量灌浆后试件质量 m_2 ；
- d) 通过式 (C.1)、(C.2) 计算出室内试件灌浆饱满度 v_g 。

$$v_g = \frac{(m_2 - m_1) / \rho}{v \times v_v} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

v_g ——灌浆饱满度，%；

m_1 ——灌浆前试件质量，g；

m_2 ——灌浆后试件质量，g；

ρ ——硬化后灌注浆体密度，g/cm³；

v ——试件体积，cm³；

v_v ——基体沥青混合料的空隙率，%。

其中基体沥青混合料的空隙率的 v_v 按公式 (C.2) 计算。

$$v_v = \left(1 - \frac{m_1}{v \gamma_t}\right) \times 100 \dots\dots\dots (C.2)$$

$$\rho = Q_c + Q_w \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

γ_t ——基体沥青混合料的最大理论密度，g/cm³。硬化后灌注浆体密度 ρ 按公式 (C.3) 进行计算：

Q_c ——每立方米硬化后灌注浆体中灌浆粉料的质量；

Q_w ——每立方米硬化后灌注浆体中用水的质量。

C.2.3 灌入式半柔性沥青混合料的现场取芯芯样的灌浆饱满度测试步骤如下：

- a) 对铺设好的基体沥青路面按规定频率进行取芯，采用体积法测出芯样空隙率，并取各芯样空隙率平均值为基体沥青混合料空隙率 v_v' 。
- b) 灌浆复合路面施工结束后，待灌入浆体硬化后进行芯样取芯，并称量芯样质量 m_1' 。
- c) 采用游标卡尺量测芯样的高度和直径，计算出芯样的体积 v' ，根据式 (C.5) 得出芯样体积下基体沥青混合料质量 m_1' 。
- d) 通过公式 (C.4) 计算出芯样灌浆饱满度。

$$v_g' = \frac{(m_2' - m_1')/\rho}{v' \times v_v'} \times 100 \dots\dots\dots (C. 4)$$

式中:

v_g' ——芯样灌浆饱满度, %;

m_1' ——芯样体积下基体沥青混合料质量, g;

m_2' ——芯样质量, g;

ρ ——灌浆料密度, g/cm³;

v' ——芯样体积, cm³;

v_v' ——基体沥青混合料空隙率, %。

其中 m_1' 的计算公式如下:

$$m_1' = \gamma_t \times v' (1 - v_v') \dots\dots\dots (C. 5)$$
