

DBJT45

广西壮族自治区交通运输行业指南

DBJT45/T 056—2023

水泥混凝土路面基层灌浆技术指南

Technical guide for grouting of cement concrete pavement base

2023 - 11 - 23 发布

2024 - 01 - 01 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 调查评价与方案设计	2
4.1 路面调查	2
4.2 路面评价	2
4.3 灌浆技术要求	3
4.4 修复方案设计	3
5 浆材料	4
5.1 一般规定	4
5.2 水泥灌浆材料	4
5.3 地聚合物灌浆材料	5
5.4 化学灌浆材料	7
6 灌浆工艺	7
6.1 一般规定	7
6.2 施工准备	8
6.3 水泥灌浆	9
6.4 地聚合物灌浆	10
6.5 化学灌浆	11
7 过程控制与质量验收	11
7.1 一般规定	11
7.2 施工准备	11
7.3 施工过程控制	11
7.4 灌浆质量验收	12
8 施工安全与环保	13
8.1 施工安全要求	13
8.2 环保要求	13
附录 A（规范性） 工艺参数计算	14
附录 B（规范性） 灌浆扩散半径计算	15

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。

本文件由广西壮族自治区交通运输厅提出并宣贯。

本文件由本文件由广西交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：广西桂海高速公路有限公司、广西大学、广西交建工程建设集团有限公司、广西北投交通养护科技集团有限公司。

本文件主要起草人：谭洪河、孟勇军、朱志勤、何克扬、陈庆林、黄钢、容洪流、赵相运、覃靖、余意、黄鲲、覃珍波、韦楼、王和林、王大伟、韦雯、姚胜彪、王显张、杨小龙、陶吉访、梁健健、胡懿容、陈菁、李胜、窦健珍。

本文件主要审查人：梁军林、覃木宝、李琳、陈强、刘宇、姚青云、张洪刚。

水泥混凝土路面基层灌浆技术指南

1 范围

本文件界定了水泥混凝土路面基层灌浆技术的相关术语和定义，规定了调查评价与方案设计、灌浆材料、灌浆工艺、过程控制与质量验收、施工安全与环保的要求。

本文件适用于广西壮族自治区行政区域内既有公路工程水泥混凝土路面基层灌浆处置。

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 4209 工业硅酸钠
- GB 5768.4 道路交通标志和标线 第4部分：作业区
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 10802 通用软质聚醚型聚氨酯泡沫塑料
- GB/T 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂
- GB 23439 混凝土膨胀剂
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB/T 50448 水泥基灌浆材料应用技术规范
- JC/T 2041 聚氨酯灌浆材料
- 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 F90 公路工程施工安全技术规范
- JTG H30 公路养护安全作业规程
- JTJ 073.1 公路水泥混凝土路面养护技术规范
- T/CECS 848 无机水性渗透结晶型材料应用技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

灌浆强度值 grouting intensity number

表征灌浆过程中的能量消耗，以灌浆压力和灌浆材料体积用量的乘积表示的力学指标。

3.2

地聚合物 geopolymer

以偏高岭土、磨细矿渣、粉煤灰等硅铝酸盐无机矿物和激发剂为主要原料，在溶液中激发缩聚形成的具有一定尺寸和相对分子质量的聚硅铝酸盐-硅氧体物质，又称无机聚合物。

3.3

化学浆液 chemical slurry

以可溶性聚合物或硅酸盐溶胶、固化剂和其它可溶性助剂为主要原料，按一定的比例与水或其它溶剂一起配制，获得的可自行固化或与处治对象其它材料发生化学反应而固化的灌浆材料。

3.4

溶矿比 dissolution ratio

地聚合物灌浆材料浆液制备过程中溶液与矿物材料的质量比。

3.5

流动度 cone fluidity

灌浆材料在重力作用下通过水泥浆稠度标准漏斗所需的时间，表征灌浆材料相对于水的黏度。

3.6

结石体 calculous body

灌浆材料硬化或固化后，浆液自身固结或浆液与其它材料固化形成的具有特定物理力学性能的固体物质，是提供使用性能的最终物质形态或工程对象。

3.7

竖向膨胀率 vertical expansion rate

灌浆材料硬化过程中的竖直方向膨胀变化量占初始值的百分比。

4 调查评价与方案设计

4.1 路面调查

4.1.1 路面调查包括路面板底脱空初步调查和路面基层结构性病害详细调查。

4.1.2 路面板底脱空可通过外观检查和调查简易判别：

- 路面板接缝唧泥或明显错台；
- 板边或板角断裂，并有明显沉陷变形；
- 车辆通过时板块有明显晃动；
- 锤击、冲击有低频回声现象。

4.1.3 路面基层结构性病害详细调查包括基层钻芯检查、面板的板边或板角弯沉检测、接缝传荷能力检测等。

4.2 路面评价

4.2.1 适用于路面基层灌浆修复的病害简易判别标准可按表 1 确定。

表1 基层脱空病害简易判别标准

调查内容	判别标准
接缝唧泥、错台	接缝有可见唧泥或唧泥记录；错台量大于等于 8 mm
板块晃动	货车通过时板块有明显晃动或有晃动记录
锤击、冲击回声	锤击或接缝跳车时与正常路段比较有明显的异常回声

4.2.2 路面基层结构性病害灌浆修复判别标准可按表 2 确定。

表2 基层结构性病害判别标准

检测内容	判别标准	方法
芯样检查	芯样松散、断根；抗压强度低于设计值或偏差系数大于等于25%	钻芯取样检查、地质雷达检查
板边或板角弯沉值	板边或板角弯沉值大于等于20(0.01 mm)	落锤式弯沉仪检测
接缝传荷能力	相邻板边弯沉差大于等于14 (0.01 mm) 或接缝传荷系数小于50%	落锤式弯沉仪检测

4.3 灌浆技术要求

4.3.1 水泥混凝土路面基层灌浆修复应达到表3的技术要求。

表3 灌浆技术要求

方案类型	技术指标		技术要求	检查方法
基层加固	芯样完整性		芯样完整、密实	钻芯取样检查
	弯沉值	板边(0.01 mm)	≤14	落锤式弯沉仪检测
		板角(0.01 mm)	≤20	
	传荷能力	弯沉差(0.01 mm)	≤6	
错台量(mm)		≤8	错台仪检测	
表面防护	浆液透入深度(mm)		≥5	钻芯取样检查
	表面浆液厚度(mm)		1~5	
灌浆稳板	弯沉值	板边(0.01 mm)	≤20	落锤式弯沉仪检测
		板角(0.01 mm)	≤20	
	传荷能力	弯沉差(0.01 mm)	≤10	
		传荷系数(%)	≥85	

4.4 修复方案设计

4.4.1 应根据病害类型及路面结构性能检测结果,综合分析后选用基层加固、表面防护或灌浆稳板等不同的灌浆修复方案。

4.4.2 灌浆修复方案应根据修复目标和质量要求,结合交通量和环境条件制定,并根据确定的灌浆修复方案编制预算文件。

4.4.3 修复方案内容应包括修复质量目标、灌浆范围、灌浆深度、灌浆材料、施工设备、灌浆工艺参数、灌浆质量验收、灌浆结束后的养生与交通控制要求等内容。

4.4.4 基层灌浆修复方案宜根据不同方案类型和修复目标,参考表4选用。

表4 基层灌浆方案选用

方案类型	修复目标	灌浆方案选择		
		水泥灌浆	地聚合物灌浆	化学灌浆
基层加固	稳定松散基层	★	★	×
	提高基层匀质性	△	△	★
	降低弯沉值及弯沉差	★	△	×
	抬板降低错台量	★	△	×
表面防护	降低基层表面溶蚀	×	△	★
	降低基层表面冲刷	×	△	★
灌浆稳板	消除板底与基层脱空	★	×	×
	消除路床脱空	★	×	×
	加固软弱路床	★	★	△

注: ★推荐; △一般推荐; ×不推荐。

5 浆材料

5.1 一般规定

5.1.1 灌浆材料可选用水泥、地聚合物或化学浆材，各类灌浆材料适用条件可参考表 5。

表5 灌浆材料适用条件

材料类型	适用条件
水泥灌浆材料	适用于松散基层加固和稳板灌浆，不适用于致密基层及黏性土路床加固
地聚合物灌浆材料	适用于松散基层及软弱路床稳定，不适合于地下水丰富或气温大于30℃的场合
化学灌浆材料	适用于基层表面防护及提高基层匀质性，对致密基层及黏性土路床有加固效果

5.1.2 灌浆材料选用应根据灌浆目标、施工方法和基层修复性能要求，综合技术经济分析确定。

5.1.3 应合理选用原材料，确定浆液最佳组成比例，满足施工性能和材料性能要求。

5.1.4 基层裂缝和松散破碎灌浆修复材料应采用 T/CECS 848 的修复性能试验方法进行验证。

5.2 水泥灌浆材料

5.2.1 水泥灌浆材料宜选用强度等级不低于 42.5 级的普通硅酸盐水泥，比表面积应符合表 6 的要求，其它各项技术指标应符合 GB 175 的各项规定。

表6 水泥灌浆材料比表面积

材料类型	比表面积 (m ² / kg)
稳板灌浆水泥	>350
加固灌浆水泥	>400

5.2.2 水泥灌浆材料宜选用高性能减水剂，符合 GB 8076 的要求。

5.2.3 稳板类灌浆材料宜添加膨胀剂，各项技术性能应分别符合 GB 23439 和 GB 50119 的相关规定。

5.2.4 路面脱空量大时可采用水泥砂浆或细石混凝土预充填。

5.2.5 水泥灌浆材料的初凝时间应不小于 30 min，终凝时间应不大于 150 min；有早强要求时，可添加早强剂或选用早强型水泥，浆液凝结时间可根据浆液扩散控制要求确定。

5.2.6 各类水泥灌浆材料的浆液应无明显泌水。

5.2.7 纯水泥浆液稳板灌浆、路床及基层超细水泥浆液加固灌浆材料按 JTG 3420 的试验方法测定，应符合表 7 的要求。

表7 灌浆材料技术要求

材料类型	评价项目	技术要求
纯水泥浆液稳板灌浆材料	初始流动度 (s)	≤20
	30 min流动度 (s)	≤50
	浆液水胶比调整方式	采用高性能减水剂
	设计流动度 (s)	20
	结石体抗压强度	符合本文件的要求
	矿物掺合料最大掺量	不大于胶凝材料总用量的30%
超细水泥浆液路床及基层加固灌浆材料	初始流动度 (s)	≤18
	30 min流动度 (s)	≤20
	设计流动度 (s)	20

表7 灌浆材料技术要求（续）

材料类型	评价项目	技术要求
超细水泥浆液路床及基层加固灌浆材料	结石体抗压强度	符合本文件的要求
	矿物掺合料总用量	不大于胶凝材料总用量的70%
	硫铝酸盐膨胀剂用量	不大于胶凝材料总用量的15%
	氧化钙膨胀剂用量	不大于胶凝材料总用量的10%
超细水泥浆液基层松散加固灌浆材料	初始流动度(s)	≤12
	30 min的流动度(s)	≤18
	设计流动度(s)	20
	7 d无侧限抗压强度	符合设计要求

5.2.8 灌浆稳板结石体的强度应以 3 d 强度为标准，应按 GB/T 50448 的试验方法进行性能试验，不同粒径试件选择应符合表 8 的要求；各龄期强度应符合表 9 的要求，竖向膨胀率应符合表 10 的要求。

表8 结石体试件选择

颗粒最大粒径	试件尺寸
≤4.75 mm	40 mm×40 mm×160 mm
>4.75 mm	100 mm×100 mm×100 mm

表9 水泥灌浆材料结石体的抗压强度

灌浆材料类型	抗压强度 / MPa		适用场合
	3 d	7 d	
超细水泥浆	≥10	≤23	≤20 mm 缝隙填充
水泥浆	≥5.0	≤23	5 mm~20 mm 空隙填充

表10 结石体竖向膨胀率要求

灌浆类型	时长	竖向膨胀率
水泥灌浆材料	3 h	0.1%~3.5%
	24 h	与3 h的竖向膨胀率之差为 0.02%~0.5%

5.2.9 基层加固采用无侧限抗压强度试验方法测定，技术要求应符合表 11 的规定。

表11 加固体的技术要求

灌浆类型	技术指标	规定值或允许偏差
水泥灌浆加固	底基层	7 d无侧限抗压强度 ≥设计值，偏差系数≤25%
	基层	7 d无侧限抗压强度 ≥设计值，偏差系数≤20%

5.3 地聚合物灌浆材料

5.3.1 可选用碱-矿渣(PS)、碱-偏高岭土(PSS)类材料。

5.3.2 碱激发剂宜选用可溶性硅酸盐如钠水玻璃或钾水玻璃等，原材料应符合 GB/T 4209 的要求，并按照不同矿物类型，按表 12 调整激发剂的模数及浓度。激发剂的调整还应符合下列要求：

- 激发剂的模数 SiO_2/M_2O 根据理论化学式及矿物材料的化学组成进行调整；
- 激发剂的浓度根据理论化学式及 H_2O/M_2O 摩尔比的要求进行调整。

表12 合成地聚合物组成参数理论值（摩尔比）

地聚合物类型	理论化学式	SiO_2/Al_2O_3	M_2O/Al_2O_3	H_2O/M_2O
PSS	$M_2Si_4O_{12} \cdot 3H_2O$	4.0 ± 1.0	1.0 ± 0.5	2~3
PS	$M_2Si_4O_{12} \cdot 7H_2O$	2.0 ± 1.0	1.0 ± 0.5	6~7

5.3.3 矿物材料选用各项性能应符合 GB/T 18736 的要求，其他要求符合表 13 的规定。可选用满足 GB/T 18736 规定的粉煤灰或硅灰等，调节磨细矿渣材料的组成。

表13 矿物材料细度要求

矿物类型	评价项目	评价指标
磨细矿渣	细度 (m^2 / kg)	400~500
偏高岭土	比表面积 (m^2 / kg)	≥ 600

5.3.4 地聚合物浆液采用 JTG 3420 的试验方法测定，应符合表 14 的要求。

表14 地聚合物浆液技术要求

灌浆材料类型	评价项目	评价指标
地聚合物	泌水率	无明显泌水
	初始流动度 (s)	$\leq 18 s$
	30min的流动度 (s)	$\leq 20 s$
	灌浆稳板浆液设计流动度 (s)	18 s
	灌浆稳板浆液溶矿比 ^a	0.3~0.6
	基层加固时浆液设计流动度 (s)	$\leq 20 s$
	基层加固时浆液溶矿比 ^a	0.5~0.7

^a 溶矿比按附录 A 描述的计算方法进行计算。

5.3.5 灌浆稳板浆液应按 3 d 抗压强度进行设计，基层加固浆液应按结石体处治强度要求进行设计。

5.3.6 灌浆结石体及其加固性能符合下列要求：

- 抗压强度试验采用 40 mm×40 mm×160 mm 的试件，缝隙灌浆结石体各龄期的抗压强度应符合表 15 的要求，结石体的强度不宜超过基层材料强度的 3 倍；
- 加固基层和底基层材料的强度采用无侧限抗压强度试验方法测定，抗压强度应符合表 16 的要求，加固后裂缝密封良好。

表15 缝隙灌浆结石体的抗压强度

灌浆材料类型	抗压强度 / MPa		用途
	3 d	7 d	
地聚合物浆	≥ 15	≤ 22.5	<20 mm 缝隙

表16 加固体的技术要求

灌浆类型		技术指标	规定值或允许偏差
地聚合物灌浆	底基层	7 d无侧限抗压强度	≥设计值, 偏差系数≤25%
	基层	7 d无侧限抗压强度	≥设计值, 偏差系数≤20%

5.4 化学灌浆材料

5.4.1 化学灌浆材料可选用发泡聚氨脂类或水玻璃。

5.4.2 发泡聚氨酯符合 GB/T 10802、JC/T 2041 的规定及表 17 的要求。

表17 聚氨酯技术要求

材料类型	评价项目	评价内容
发泡聚氨酯	材料选择	宜采用现场浇注型发泡聚氨酯
	表观密度(kg / m ³)	≤80
	压缩强度(MPa)	≥0.3
	闭孔率(%)	>90
	吸水率(%)	≤4

5.4.3 水玻璃应符合 GB/T 4209 的规定及表 18 的要求。

表18 水玻璃技术要求

材料类型	评价项目	评价内容
水玻璃	原液模数	2.2~4.0
	浓度(Bé)	30°~50°
	外观	无结块、无分层
	固体密度(g / m ³)	≥1.3

5.4.4 化学灌浆防护性能应符合表 19 的要求, 且符合下列要求:

- 溶蚀防护应有足够的透入深度, 满足基层表面抗溶蚀防护要求;
- 冲刷防护应形成足够的防护层厚度, 防护层满足防渗要求。

表19 加固体的技术要求

灌浆类型		技术指标	规定值或允许偏差
化学灌浆	溶蚀防护	透入深度(mm)	≥5
	冲刷防护	防护层厚度(mm)	1~5

6 灌浆工艺

6.1 一般规定

6.1.1 应编制总体施工组织方案, 并根据路面状况的变化进行动态调整。

6.1.2 根据修复方案的要求, 做好修复前的各项准备工作。

6.1.3 选用的灌浆材料应与灌浆目标和灌浆工艺相适应, 并适应环境变化的要求。

6.2 施工准备

6.2.1 根据预先制定好的灌浆方案，做好材料准备、施工机械准备和现场交通组织等工作。

6.2.2 材料准备符合下列要求：

- 应根据修复方案、灌浆材料设计结果和处治工程数量，准备足够的修复材料；
- 水泥、矿物外加剂、膨胀剂、砂、石等材料，应考虑数量偏差和试验材料用量消耗；
- 激发剂溶液、高性能减水剂、固化剂、化学灌浆材料等，按计划用量准备并预留一定的富余量；
- 固体材料应采用袋包装，包装重量不宜过大；液体材料应采用桶装，现场配制的激发剂溶液，按要求检测合格后方可装桶，各种材料的包装应符合相关技术标准要求，并应便于按包装计量。

6.2.3 施工设备准备符合下列要求：

- 旧水泥混凝土路面非开挖修复应按工艺要求准备好相应的机械设备和工具；
- 深部钻孔可采用普通地质钻机；浅部钻孔宜采用高效冲击钻机；
- 溶液混合可采用塑料桶、搅拌棒、长柄勺子等设备与工具，准备适量的塑料桶装溶液；
- 水泥浆和砂浆宜采用立式水泥浆或砂浆搅拌机，宜采用高速剪切搅拌机，转速 1 300 r/min~1 600 r/min，砂浆和自密实混凝土也可采用现场搅拌楼搅拌；
- 现场应配备专用的水泥灌浆设备；采用双组份化学浆液灌浆时，应配备专门的双组份灌浆设备，灌浆设备的灌浆压力应符合要求。

6.2.4 钻孔布置及灌浆施工准备流程可参考图 1。

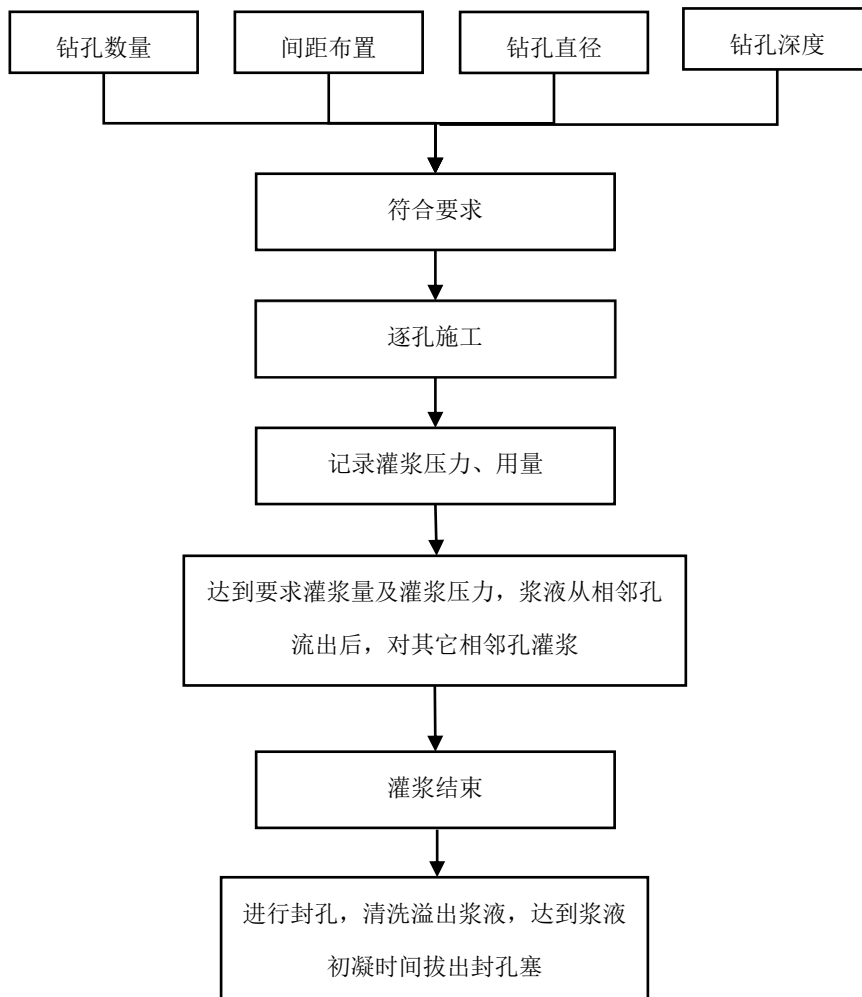


图1 钻孔布置及灌浆施工过程控制流程

6.3 水泥灌浆

6.3.1 水泥灌浆钻孔布置应符合下列要求：

- 钻孔沿脱空区布置，钻孔平面布置根据浆液流动度或坍落扩展度进行，在路面板中按梅花状均匀布置；
- 每块板至少布置 5 个钻孔，其中四个钻孔宜布置于路面板的四个板角附近，离板边的距离不少于 1.0 m，一个钻孔布置于板中。

6.3.2 基层加固灌浆钻孔布置宜符合表 20 的要求。

表20 基层加固灌浆钻孔布置要求

施工内容	要求内容	具体要求
基层加固灌浆钻孔布置	钻孔深度	超过所需加固基层底面不少于0.50 m
	钻孔布置	按浆液扩散半径进行设计 ^a
	钻孔直径(mm)	100
	灌浆参数	灌浆试验确定
	灌浆压力与持荷时间	根据孔隙直径和浆液流动性确定
^a 浆液扩散半径按附录 B 描述的计算方法进行计算。		

6.3.3 纯水泥浆液制备应符合表 21 的要求。

表21 纯水泥浆液制备要求

施工内容	要求内容	具体要求
纯水泥浆液制备	工作时段	按30 min划分工作时段
	浆液制备量	按计划用量制备
	浆液制备计量	按规定的材料组成计量
	浆液使用要求	符合流动度要求
	浆液使用时长	30 min内使用完

6.3.4 水泥浆液灌浆稳板宜符合表 22 的要求。

表22 水泥浆液灌浆稳板要求

施工内容	要求内容	具体要求
水泥浆液灌浆稳板	灌浆量控制	以每个钻孔均出浆为标准，按工艺过程进行控制
	缝隙灌浆设计	按平均间隙为10 mm进行设计
	灌浆压力 (MPa)	<1.5
	单位面积路面的耗浆量 (L)	10~20
	浆液透入深度 (mm)	>5
	表面浆膜厚度 (mm)	1~5

6.3.5 基层加固水泥浆灌浆过程中不准许造成路面拱起或开裂破坏，施工宜符合表 23 的要求。

表23 基层加固水泥浆施工要求

施工内容	要求内容	具体要求
基层加固水泥浆施工	材料用量及灌浆参数确定	根据材料孔隙率、含水率和灌浆强度
	改进灌浆强度 (MPa·L / m ²)	20~30
	最大灌浆压力 (MPa)	<1.5

6.4 地聚合物灌浆

6.4.1 地下水丰富的场合或有地下水运动时不宜直接选用地聚合物灌浆；环境温度 <5℃ 或 >30℃ 时，不宜开展地聚合物灌浆施工。

6.4.2 地聚合物灌浆钻孔宜符合表 24 的要求。

表24 地聚合物灌浆钻孔要求

施工内容	要求内容	具体要求
地聚合物灌浆钻孔	钻孔深度	≥加固层深度 0.50 m
	钻孔直径	>100 mm
	钻孔间距	<2.0 m
	钻孔布置	按梅花状均匀布置

6.4.3 地聚合物浆液制备分为激发剂溶液制备和灌浆料制备两个步骤，激发剂溶液制备后，按照浆液的流动性和结石体强度要求确定溶液与矿物材料的质量比。

6.4.4 激发剂溶液制备应符合下列要求：

- 测定水玻璃的模数，根据激发剂溶液的设计模数要求，采用氢氧化钠调整模数；
- 测定水玻璃的比重，根据激发剂溶液的设计浓度要求，采用加水方法调整溶液浓度；
- 按设计配方要求，制备激发剂溶液，测定激发剂溶液的比重及模数；
- 激发剂溶液制备后，贮存在塑料桶中陈放 24 h 以上，待溶液温度达到室温后使用。

6.4.5 地聚合物浆液制备应符合下列要求：

- 按照溶矿比制备地聚合物浆液；
- 地聚合物浆液采用高速砂浆搅拌机搅拌，随制备随使用，在使用过程中保持不停搅拌；
- 浆液使用过程中存在沉淀时，可添加适量水泥、粉煤灰、硅灰等矿物材料调整，添加矿物材料后应按溶矿比要求添加相应的激发剂溶液；
- 地聚合物浆液宜在 20 min 内使用，最长使用时间不宜超过 30 min，温度较高、浆液有明显沉淀或结石时不准许使用。

6.4.6 地聚合物稳板灌浆宜以加固路床及填充空隙为主，加固路床时应符合表 25 的要求。

表25 地聚合物灌浆加固要求

材料类型	评价项目	评价指标
地聚合物灌浆	单位面积耗浆量(L)	10~20
	灌浆压力(MPa)	<1.5

6.4.7 地聚合物灌浆防护应符合表 26 的要求。

表26 地聚合物灌浆防护要求

材料类型	灌浆方式	具体要求
地聚合物灌浆	渗透灌浆	浆液透入深度应大于5 mm
	充填灌浆	表面浆膜厚度为1 mm~5 mm

6.5 化学灌浆

6.5.1 化学灌浆用于水泥混凝土路面基层灌浆修复时，应符合表 27 的要求，根据灌浆修复目标合理选用化学灌浆材料。

表27 化学灌浆材料选择

材料类型	适用情况
双组分水玻璃浆液	基层软弱、松散、开裂，强度与刚度不足
发泡聚氨酯双组分浆液	稳板灌浆化学浆液用量较大

6.5.2 加固灌浆应包括整个基层，钻孔深度应超过加固深度 0.5 m 以上，宜采用双液灌浆。

6.5.3 防护灌浆应针对溶蚀和冲刷的基层或底基层表面，采用单液渗透灌浆，灌浆压力应满足透入深度的要求。

6.5.4 稳板灌浆应针对脱空部位，先采用水泥灌浆填充，并形成灌浆帷幕，剩余空隙再采用化学浆液灌浆填充。

6.5.5 双组分水玻璃浆液化学灌浆加固宜采用双重管钻杆法，钻孔设备及化学浆液应符合设计方案的要求。

6.5.6 冲刷防护渗透灌浆工艺参数应通过灌浆试验确定，灌浆压力应符合透入深度及防护层厚度要求。

6.5.7 稳板灌浆宜采用二次灌浆工艺，一次灌浆采用水泥灌浆，应符合 6.3 的要求；二次灌浆采用化学灌浆时，宜选用双组分发泡聚氨酯、双组分水玻璃浆液等，采用双重管钻杆工艺施工。

7 过程控制与质量验收

7.1 一般规定

7.1.1 灌浆修复应按基层加固、冲刷防护和稳板灌浆不同类型进行控制，质量控制以过程控制为主。

7.1.2 采用不同的灌浆材料体系或灌浆工艺时，应按材料类型或工艺过程分别进行控制。

7.1.3 灌浆过程不应造成新的路面裂缝和脱空，不堵塞路面排水系统，出现的病害或堵塞应处理。

7.1.4 灌浆修复过程中应做好浆液制备和灌浆工艺参数记录，宜采用自动化控制。

7.2 施工准备

7.2.1 各种原材料应经过试验，符合本文件的要求，并按要求进行验收、贮存和使用。

7.2.2 浆液制备、钻孔和灌浆设备应配套齐全，设备性能完好，符合工艺要求。

7.2.3 浆液制备应通过试拌，验证浆液流动性、凝结时间和结石体强度，应符合本文件的要求。

7.2.4 正式灌浆前应进行灌浆试验，确定钻孔布置、浆液用量、灌浆压力、稳压时间等参数。

7.2.5 灌浆路段应做好交通管制，交通管制时间应满足事前检测、灌浆施工和效果评价的要求。

7.3 施工过程控制

7.3.1 施工过程中灌浆材料质量可按表 28 规定的检查项目与频度对材料进行抽样试验。

表28 灌浆材料检查频度

材料类型		检查项目	检查频度
水泥灌浆材料	水泥	外观	随时
		细度 (45 μm)	每批1~2次
		标准稠度用水量	每批1~2次
	浆液	凝结时间	每批1~2次
		浆液流动性	每批1~2次
地聚合物灌浆材料	矿物材料	浆液3 d抗压强度	每批1~2次
		比表面积	每批1~2次
	激发剂	活性指数	每天抽样1~2次
		模数	每批1~2次
	浆液	浓度	每天抽样1~2次
地聚合物灌浆材料	浆液	浆液流动度	每批1~2次
化学灌浆材料	浆液	浆液3 d抗压强度	每批1~2次
		外观	随时
		密度	每批1~2次
		黏度	每批1~2次
		凝胶时间	每天抽样1~2次
		凝固时间	每天抽样1~2次

7.3.2 浆液制备过程控制应符合下列要求：

- 各种原材料和外加剂提前准确计量，矿物材料采用袋包装、液体材料采用桶装；
- 浆液随制随用，使用时间超过 30 min 或流动性不满足要求时，及时调整或废弃。

7.4 灌浆质量验收

7.4.1 灌浆质量应符合下列基本要求：

- 原材料有出厂合格证明，进场原材料经进场抽检验收合格；
- 浆液的流动性符合相应灌浆工艺的使用要求，结石体强度合格；
- 钻孔布置、钻孔直径及深度符合修复方案的要求；
- 灌浆过程参数记录齐全，灌浆量和灌浆压力等符合要求。

7.4.2 水泥混凝土路面基层灌浆修复实测项目见表 29。

表29 实测项目

项目	容许误差	检测频次	检测方法
弯沉值	不大于验收弯沉值	左右轮迹带间隔20 m	JTG 3450 贝克曼梁回弹弯沉
弯沉差	不大于设计要求	逐板检测	JTG 3450 贝克曼梁或落锤式弯沉仪
灌浆量	符合设计要求	逐板检测	JTG 3450 钻芯和切割取样方法
结石体强度	不小于设计要求	抽检20%	分层测量法
传荷能力	符合设计要求	逐板检测	地质雷达或钻孔检查
灌浆饱满度	符合设计要求	逐板检测	JTG 3450 落锤式弯沉仪方法

7.4.3 外观检查符合 JTJ 073.1 及下列要求：

- 混凝土面板周边板块平齐，无松动、空鼓、唧泥等情况；

- 灌浆孔应填满并与原路面齐平，灌浆孔附近路面无拱起；
- 灌浆路面无新增裂缝，路面恢复清洁、美观。

7.4.4 交通组织应符合下列要求：

- 施工时的交通组织分别符合 JTG H30 和 GB 5768.4 中的养护作业区安全防护要求；
- 灌浆修复路段，灌浆结石体的强度达到 1 d 抗压强度要求后可开放交通；
- 灌浆稳板处治路段，48 h 的板边弯沉值及弯沉差检测合格后可开放交通；
- 灌浆结石体强度、板边弯沉值及弯沉差等不满足开放交通要求时，延长开放交通时间。

8 施工安全与环保

8.1 施工安全要求

- 8.1.1 灌浆施工过程中的安全应符合 JTG F90 的要求，不准许违章作业。
- 8.1.2 应加强安全和环境巡视和检查，发现隐患应立即整改。

8.2 环保要求

- 8.2.1 选择注浆材料时应充分考虑环境影响。
- 8.2.2 可采取注浆帷幕和多次注浆等措施，控制浆液扩散范围。
- 8.2.3 浆泵和输配浆装置应密闭、工作环境应通风。
- 8.2.4 灌浆产生的废弃浆液应集中进行处理，不准许随意排放、抛弃，并应符合环境保护的规定。
- 8.2.5 灌浆结束后，路面灌浆污染应及时清理。

DBJT
广西交通运输厅

附录 A
(规范性)
工艺参数计算

A.1 溶液与矿物的比例按溶液体积与矿物用量的比值按式(A.1)计算:

$$\text{溶矿比} = \text{溶液体积 (L)} / \text{矿物质量 (kg)} \dots\dots\dots (\text{A. 1})$$

A.2 灌浆强度按式(A.2)进行评价, 灌浆强度应满足加固要求。常用灌浆强度应符合表 A.1 的规定。

$$GIN = pv_l \dots\dots\dots (\text{A. 2})$$

式中:

- GIN ——灌浆强度值 (MPa·L/m) ;
- p ——灌浆压力 (MPa) ;
- v_l ——单位钻孔长度的浆液灌入体积 (L/m) 。

表A.1 常用灌浆强度指标

灌浆强度 ^a	弱	中	强
GIN (MPa·L / m)	50~100	100~200	≥200
^a 常用灌浆强度值根据已有经验提出, 在路床加固中, 一般采用强到中等, 对高液限、高含水量土, 为保证有足够的灌浆量, 采用较大的灌浆压力和强灌浆。			

A.3 路面结构层加固或稳板灌浆, 灌浆强度值以单位面积路面的灌浆量与灌浆压力的乘积表示, 按式(A.3)计算, 路面结构灌浆常用改进灌浆强度值应符合表 A.2 的规定。

$$GIA = pv_a \dots\dots\dots (\text{A. 3})$$

式中:

- GIA ——路面改进灌浆强度值 (MPa·L/m²) ;
- p ——灌浆压力 (MPa) ;
- v_a ——单位面积的浆液灌入体积 (L/m²) 。

表A.2 路面结构加固常用灌浆强度指标

灌浆强度	弱	中	强
GIA (MPa·L / m ²)	5~10	10~20	≥20

A.4 路面结构脱空缺陷的填充, 灌浆强度值以灌浆压力为 1.0 MPa 时单个缺陷的灌浆量表示, 单个缺陷按每处或每块板进行统计, 按式(A.4)计算:

$$GIV = pv \dots\dots\dots (\text{A. 4})$$

式中:

- GIV ——路面改进灌浆强度值 (MPa·L) ;
- p ——灌浆压力 (MPa) ;
- v ——单个路面脱空部位的浆液灌入体积 (L) 。

附录 B
(规范性)
灌浆扩散半径计算

灌浆扩散半径可按式(B.1)计算:

$$r_1 = \sqrt[3]{\frac{3Kt\Delta p l_0}{\beta\phi}} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

- r_1 ——浆液扩散半径 (cm) ;
- K ——渗透系数 (cm/s) ;
- t ——灌浆扩散时间 (s) ;
- p ——灌浆压力 (MPa) ;
- l_0 ——灌浆管半径 (cm) ;
- β ——浆液黏度对水的黏度比;
- ϕ ——孔隙率。

