

DBJT45

广西壮族自治区交通运输行业指南

DBJT45/T 030—2021

公路路面基层注浆加固技术指南

Technical guidelines for grouting reinforcement of pavement base

2021 - 11 - 12 发布

2021 - 12 - 10 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 检测与评价	2
4.1 一般规定	2
4.2 基层缺陷检测	2
4.3 评价	3
5 原材料	3
5.1 一般规定	3
5.2 地聚合物注浆材料	3
5.3 水泥基注浆材料	4
6 注浆加固设计	5
6.1 一般规定	5
6.2 注浆液配合比设计	5
6.3 注浆设备	6
6.4 布孔、孔深及注浆顺序	6
6.5 注浆工艺	6
7 注浆施工	8
7.1 一般规定	8
7.2 钻孔	8
7.3 搅拌	9
7.4 注浆	9
7.5 养生	9
7.6 施工质量监控	9
8 施工质量验收	10
8.1 一般规定	10
8.2 工程验收标准要求	10
8.3 施工质量验收指标	10
8.4 验收资料	11
9 施工安全和环保	11
9.1 交通组织与维护	11
9.2 施工作业安全	11
9.3 施工环境保护	11
附录 A (资料性) 注浆液流动度试验方法	12
附录 B (资料性) 注浆液泌水率和收缩率试验方法	13
参考文献	14

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：广西交投科技有限公司、广西交通投资集团百色高速公路运营有限公司、广西交科集团有限公司、广西交通职业技术学院。

本文件主要起草人：林有贵、栗晖、侯海元、马进、易强、农彬艺、廖江林、周胜波、袁祖光、杜荣耀、丁永灿、农黄、卢军源、李盈富、石菊创、王友平、黄广喜。

公路路面基层注浆加固技术指南

1 范围

本文件规定了公路路面基层注浆加固技术的术语和定义、检测与评价、原材料、注浆加固设计、注浆施工、施工质量验收、施工安全和环保。

本文件适用于广西行政区域内的公路沥青路面基层松散、脱空等路面结构内部缺陷的注浆加固，其他类型基层可参考使用。

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 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB 5768.4 道路交通标志和标线 第4部分：作业区
- GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB/T 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂
- JGJ 46 施工现场临时用电安全技术规范
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JGJ/T 70 建筑砂浆基本性能试验方法标准
- JTG 3430—2020 公路土工试验规程
- JTG 3450—2019 公路路基路面现场测试规程
- JTG E20—2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
- JTG H30 公路养护安全作业规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地聚合物注浆材料 *geopolymer grouting material*

由矿渣粉、钢渣粉、粉煤灰、偏高岭土和硅灰等配合碱激发剂以一定配比组成的混合料。

3.2

水泥基注浆材料 *cement-based grouting material*

以硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥等为主材及外掺剂组成的混合料。

3.3

碱激发剂 *alkali activator*

地聚合物中对矿渣粉的水化起催化作用的苛性碱、含碱性元素的硅酸盐、铝酸盐、磷酸盐、硫酸盐、碳酸盐等催化剂。

3.4

注浆加固 grouting reinforcement

将具有一定流动性与渗透性的注浆液通过具有一定压力的注浆设备注入道路基层内部松散、脱空等缺陷部位，以提高路面结构强度。

3.5

脱空 void

路面结构层之间的局部范围内存在不连续接触现象的路面病害。

3.6

松散 loose

由于胶结料不足或碎石级配不良导致的半刚性基层不板结。

3.7

偏高岭土 metakaolin

以高岭土为原料，在600℃~900℃温度下煅烧脱水形成的具有很高火山灰活性的无水硅酸铝。

4 检测与评价

4.1 一般规定

4.1.1 基层病害缺陷检测与定位，应先从路面表观病害特征来判定基层病害缺陷的大概位置与范围，确定路面结构内部缺陷范围的探测方法，再采用地质雷达、面波仪、落锤式弯沉仪等无损检测工具进行专项检测。

4.1.2 基层病害缺陷检测应以无损检测为主，钻探检测验证为辅的方式，获知基层病害处的缺陷情况、位置、深度、范围及形状。

4.1.3 重点检测注浆车道轮迹带处，在车辙、裂缝病害及弯沉盆不连续处应进行钻芯验证，综合无损检测结果，形成检测报告。

4.1.4 分析路面病害产生的成因，判断路面基层是否存在松散、脱空缺陷，评价注浆加固是否适用，确定注浆位置、深度和范围。

4.2 基层缺陷检测

4.2.1 地质雷达检测符合以下规定：

- 2D 雷达宜采用 500 MHz~800 MHz 高频天线，有条件时尽可能采用 3D 地质雷达；
- 对于一个车道，2D 地质雷达的检测线为左右轮迹带、车道的中线位置。采用 3D 雷达时，探测宽度应覆盖左右轮迹带；
- 分析雷达图像，描绘缺陷类型，并钻芯对比验证；
- 验证钻芯应穿过基层到达级配碎石层顶面，对比验证松散夹层、脱空等缺陷对应的雷达图像；其中，松散型缺陷应按大空隙型松散、密实型松散进行分类；
- 形成地质雷达检测报告，内容包括缺陷类型、位置桩号、范围、几何尺寸等；
- 现场探测时应及时校正仪器记录桩号，使其与实际公路桩号保持一致。

注：现场调查发现，部分水稳基层松散原因是碎石级配不良、空隙大，而部分原因是虽然碎石级配良好基层密实但水泥剂量不足。地聚合物和水泥基注浆液可渗入大空隙型松散基层，但无法渗入密实型松散层，而应采用高渗透性注浆材料，如超细水泥、高渗透性专用注浆材料等。因此，路面调查检测时应区分松散类型。由于存在缺陷的基层孔洞、通道发育，注浆时多数情况下浆液不会形成压力流动，因此浆液的渗透性主要取决于其中固体颗粒大小。一些粉状减水剂溶于水，而多数膨胀剂不溶于水。常用水泥和掺合料的粒度一般采用比表面积表征。宜先采用不同的注浆材料开展试验段注浆施工，通过钻芯观察浆液渗透效果来确定对应于该注浆材料的基层松

散类型。

4.2.2 仅采用钻芯检测评价时，符合以下规定：

- a) 对确定注浆车道的左、右轮迹带进行钻芯，每 1 km 轮迹带钻取不宜少于 5 个芯样，钻芯深度应穿过基层到达级配碎石层顶面；
- b) 观察基层芯样完整性，结合钻孔后孔内残余水量情况，以及采用内窥镜辅助观测，判断是否存在松散夹层、脱空等缺陷。

4.2.3 路面弯沉检测符合以下要求：

- a) 应采用落锤式弯沉仪（以下简称“FWD”）按 JTG 3450—2019 的规定执行，分别检测左、右轮迹带弯沉，测点间距不宜大于 10 m；
- b) 采用 50 kN 荷载板中心弯沉，分段统计代表弯沉；
- c) 分析弯沉盆特性，大致确定缺陷存在的层位。

4.3 评价

4.3.1 根据地质雷达、钻芯和 FWD 检测结果，分析病害产生原因。

4.3.2 分析脱空和大空隙型松散等缺陷的范围，估算脱空尺寸、松散夹层空隙率和缺陷面积，估算注浆量。

4.3.3 形成检测和评价报告，明确缺陷类型、范围、面积、注浆量和注浆路段。

5 原材料

5.1 一般规定

5.1.1 注浆液应具有适宜的渗透性、流动度，不泌水，硬化后不收缩，强度应满足设计要求。

5.1.2 注浆用水符合 JGJ 63 的规定。

5.1.3 根据不同的主要缺陷类型、注浆目的和要求，注浆材料可选用地聚合物注浆材料、水泥基注浆材料、聚合物改性水泥基注浆材料。

5.1.4 处治大空隙型松散为主的基层缺陷，宜选用地聚合物注浆材料，处治脱空为主的基层缺陷，宜选用水泥基注浆材料、聚合物改性水泥基注浆材料，也可选用地聚合物注浆材料。

5.1.5 注浆材料宜在工厂制备袋装成品，不应现场配制。

5.2 地聚合物注浆材料

地聚合物原材料的技术性能符合以下要求：

- a) 地聚合物注浆材料应主要由矿渣粉、粉煤灰、碱激发物、减水剂等组成，根据需要也可掺加偏高岭土、硅灰等；
- b) 矿渣粉和粉煤灰的性能应分别符合 GB/T 18046 和 GB/T 1596 的相关规定，并应满足表 1 的要求；
- c) 碱激发物宜采用粉状碱性化学物，其浆液凝结时间应满足施工要求，龄期强度满足表 3 的要求；硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥也可代替部分碱激发物；
- d) 对渗透性有特殊要求的，应选用细颗粒 S105 矿渣粉材料、I 级粉煤灰；
- e) 可通过选择碱激发剂和调整组分比例得到不同龄期强度地聚合物注浆材料，以满足早强需求。

表1 地聚合物组成材料的性能指标

指标	矿渣粉		粉煤灰		硅灰
	S105	S95	I级	II级	—
等级	S105	S95	I级	II级	—
细度 (45 μm 筛余) (%), 不大于	—	—	30.0	35.0	—
比表面积 (m ² /kg), 不小于	500	400	—	—	15 000
含水率 (%), 不大于	1.0	—	1.0	—	3.0
需水量比 (%), 不大于	95.0	—	105.0	—	125
氧化硅 (SiO ₂)、氧化铝 (Al ₂ O ₃) 和氧化铁 (Fe ₂ O ₃) 总含量 (%), 不小于	—	—	70.0	70.0	—
玻璃体含量 (%), 不小于	85.0	85.0	—	—	—
28 d活性指数 (%), 不小于	105.0	95.0	85.0	70	85
氧化镁 (MgO) 含量 (%), 不大于	14.0	—	—	—	—
三氧化硫 (SO ₃) 含量 (%), 不大于	4.0	—	3.0	—	—
烧失量 (%), 不大于	1.0	1.0	8.0	—	—

5.3 水泥基注浆材料

水泥基注浆原材料技术性能符合以下要求:

- 宜采用普通硅酸盐水泥、硅酸盐水泥和掺合料制备, 掺合料可采用粉煤灰、矿渣粉等, 有早强要求时宜掺加早强剂或采用早强水泥, 有渗透性要求的宜采用超细水泥;
- 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥的性能应符合 GB 175 的规定;
- 超细水泥最大粒径不宜超过 20 μm, 平均粒径不宜大于 5 μm;
- 水泥基注浆材料宜掺加减水剂、膨胀剂等, 用量应根据注浆设计要求, 通过浆液试验和现场注浆试验确定;
- 可掺加丙烯酸脂、聚乙烯醇等粉状聚合物来降低浆液的泌水率, 提高粘结强度;
- 用作水泥基掺合料的矿渣粉、粉煤灰的性能应分别符合 GB/T 1596、GB/T 18046 和 GB/T 18736 的相关规定, 并应满足表 2 的要求。

表2 水泥基注浆材料掺合料性能指标

种类	粉煤灰		矿渣粉	硅灰	钢渣粉
	II级	III级	S95	—	—
等级	II级	III级	S95	—	—
细度 (45 μm 筛余) (%), 不大于	35.0	45.0	—	—	—
比表面积 (m ² /kg), 不小于	—	—	400	15 000	400
含水率 (%), 不大于	1.0		—	3.0	1.0
需水量比 (%), 不大于	105	115	95	125	90
氧化硅 (SiO ₂)、氧化铝 (Al ₂ O ₃) 和氧化铁 (Fe ₂ O ₃) 总含量 (%), 不小于	70.0		—	—	—
28 d活性指数 (%), 不小于	85.0	70.0	95.0	85.0	80.0
烧失量 (%), 小于	—	—	3.0	—	—

6 注浆加固设计

6.1 一般规定

6.1.1 根据注浆处治目的,按照基层缺陷检测结果,确定各分段基层缺陷类型、注浆材料及技术指标、验收弯沉值、注浆量、注浆设备、注浆工艺、质量检测内容和验收方法。

6.1.2 针对基层缺陷类型,根据所需的注浆加固结果、开放交通要求,选择合适的注浆材料和注浆设备,设计注浆工艺和注浆后验收指标。

6.1.3 注浆加固设计方案宜通过试验路验证或相同工程项目类比分析,通过弯沉检测、钻芯、地质雷达或面波仪等其它检测方法评价注浆加固效果,确定各设计参数、单位面积注浆量、验收弯沉值,进行动态设计。

6.2 注浆液配合比设计

6.2.1 应根据第5章的要求选择注浆材料,原材料和注浆液的技术指标应符合表3、表4的要求。

表3 地聚合物注浆材料主要技术指标(标准养生)

材料类型	流动度 (s)	初凝时间 (min)	终凝时间 (min)	泌水率 (%)	膨胀率 (%)	结石抗压强度(MPa)		
						1 d	3 d	28 d
早强型	13~17	≥20	≤80	≤0.4	0~0.01	≥10.0	≥20.0	≥30
普通型	13~17	≥30	≤400	≤0.4	0~0.01	≥5	≥15	≥30
试验方法	附录 A	GB/T 1346		附录 B		JGJ/T 70		
注:浆液结石抗压强度试件按JGJ/T 70中的方法成型试件,24 h后拆模,试件放置于黑色塑料袋密封、在标准环境养生到要求龄期。								

表4 水泥基注浆材料的主要技术指标

材料类型	流动度 (s)	初凝时间 (min)	终凝时间 (min)	泌水率 (%)	膨胀率 (%)	抗压强度 (MPa)		
						1 d	3 d	28 d
早强型	≤20	≥30	≤120	≤0.4	0~0.01	≥20	≥25	≥30
普通型	≤20	≥30	≤150	≤0.4	0~0.01	≥5	≥15	≥30
试验方法	附录 A	GB/T 1346		附录 B		JGJ/T 70		
注:浆液结石抗压强度试件按JGJ/T 70中的方法成型试件,24 h后拆模,试件放于黑色塑料袋密封、在标准环境养生到要求龄期。								

6.2.2 配合比试验成型试件时,试验环境与水泥试验条件要求相同,搅拌速率宜为1300r/min~1600r/min,成型70.7mm×70.7mm×70.7mm的立方体试件,24h后拆模装入塑料袋密封,在标准温度下养生至要求龄期。

6.2.3 地聚合物注浆材料配合比设计符合以下要求:

- 室内配合比试验时,应检测浆液在不同环境气温下的初凝和终凝时间,评价合适施工气温范围;
- 水灰比应根据设计要求通过试验确定,通常宜为0.4~0.5,浆液性能和硬化结石抗压强度应符合表3要求;

- c) 采用市场购买的成品时，应按产品说明的水灰比，验证其浆液工作性和结石技术性能，尤其是验证注浆材料在施工环境温度下的工作性能。

6.2.4 水泥基注浆材料的配合比符合以下要求：

- a) 宜采用 42.5 及以上强度等级的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥；
- b) 水泥基注浆材料宜掺加减水剂、膨胀剂；有早强要求时宜采用早强水泥或掺加早强剂。外掺剂用量应通过试验确定；
- c) 配制早强浆材时粉煤灰掺量不宜大于水泥用量的 10%；配制普通型浆材时宜掺加 II 级以上粉煤灰，掺量不宜大于水泥用量的 30%，或掺加 S95 矿渣粉，掺量不宜大于水泥用量的 20%；
- d) 丙烯酸脂等聚合物掺量宜为水泥材料质量的 0.5%~1%。

6.3 注浆设备

6.3.1 根据路面基层内部结构缺陷类型，选择注浆设备类型和参数。

6.3.2 固结大空隙松散夹层时应采用低压慢速注浆工艺，宜采用搅拌和注浆一体的智能注浆设备，性能宜符合表 5 的要求。

6.3.3 以填充基层脱空为主的注浆，优先选用智能搅拌注浆设备，也可采用普通注浆设备。

表5 注浆设备主要性能

序号	设备名称	型号、规格	备注
1	螺旋水钻，螺旋风钻	孔径30 mm~50 mm	—
2	搅拌机	高速剪切搅拌，转速1300r/min~1600r/min.；智能精确控制加水量、各掺合料重量。	应能按照设计材料配合比，能准确配料、搅拌，宜为搅拌和注浆一体化设备。
3	注浆设备	最大注浆压力4 MPa~5 MPa，可智能控制压力在1.5 MPa左右恒定2 min以上，配附流量计。	
4	载重车	4 t以上	装载注浆材料
5	水车	5 t以上	视注浆需要确定
6	水箱	2 t以上	视注浆需要确定
7	发电机	功率宜大于40 kW，或大于设备总用电功率的1.4倍以上。	应满足搅拌、注浆和钻孔电力需要，视注浆需要确定。

6.4 布孔、孔深及注浆顺序

6.4.1 注浆加固范围和深度符合下列规定：

- a) 半刚性基层松散和层底脱空注浆渗透范围应大于加固车道宽度，重点加固轮迹带处的基层；
- b) 注浆深度应根据钻芯、地质雷达探测缺陷深度的结果来确定，注浆孔应穿透松散缺陷并进入下层不小于 5 cm；以基层层底脱空为主的缺陷，注浆孔应穿过基层、进入级配碎石层不小于 10 cm；
- c) 一般路段宜采用图 2~图 4 的形式布孔，注浆孔直径 3 cm~5 cm。孔距应根据试验路验证后确定，一般为 1.2 m~1.8 m。对于横缝和纵缝，注浆孔应沿着裂缝走向交叉布置，注浆孔距离裂缝宜为 0.3 m。

6.4.2 基层注浆应按从低处往高处的顺序进行。

6.5 注浆工艺

6.5.1 注浆设计参数包括注浆压力、单孔注浆量、孔径、孔距等。

6.5.2 单孔注浆量应通过现场试验确定，也可参考同类工程经验。

6.5.3 填充脱空注浆压力应控制在 0.3 MPa~1.0 MPa。

6.5.4 固结大空隙松散碎石时采用低压慢速注浆工艺，注浆过程压力控制在 0.5 MPa~1.5 MPa，并于 1.5 MPa 时恒压 1 min~2 min，或待注浆流量很小时停止注浆。

6.5.5 路面基层注浆宜按图 1 所示工艺流程施工。

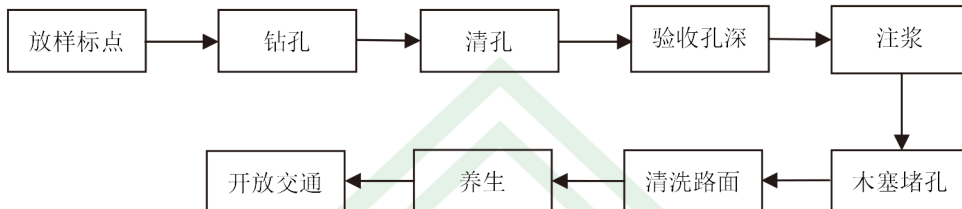


图1 注浆工艺流程

6.5.6 根据无损探测、钻芯检测结果进行注浆点的定位和布置，对注浆点进行喷漆标注，并根据路面内部缺陷类型制定注浆材料和工艺方案。

6.5.7 注浆孔布设符合以下规定：

- a) 注浆孔宜按实际情况布设，可为长方形（图 2）、正方形（图 3）或梅花形（图 4）；
- b) 注浆孔宜设多排，可布设于存在内部缺陷路面的左右轮迹带和车道中线共 3 条线上；
- c) 在同一条线上的注浆孔间距应符合设计要求；
- d) 裂缝处的注浆孔应沿着裂缝走向布置，注浆孔距离裂缝的距离可取为 0.3 m。

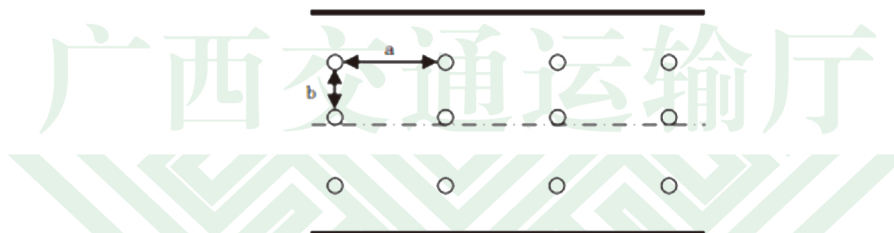


图2 注浆孔长方形布孔形式

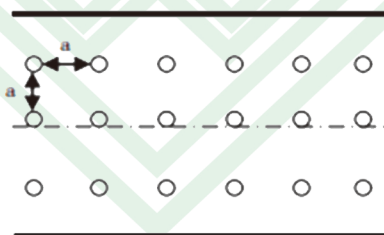


图3 注浆孔正方形布孔形式

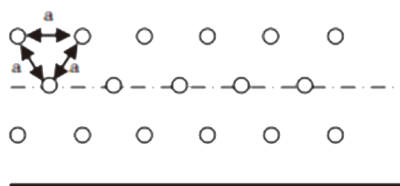


图4 注浆孔梅花形布孔形式

6.5.8 可采用两种施工工艺注浆，包括一次钻孔一次注浆工艺和两次钻孔两次注浆工艺。一次钻孔一次注浆工艺为钻孔至级配碎石底基层，进行一次注浆；上基层底部松散而下基层层底脱空时，宜采用两次注浆工艺，第一次钻孔至下基层顶面以下 5 cm，进行第一次注浆，一般第二天后在原孔位再钻孔至级配碎石底基层以下 5 cm，进行第二次注浆。

6.5.9 现场养生的浆液结石试样抗压强度大于 10 MPa 时可开放交通。

6.5.10 单孔注浆量可按式（1）进行估算。

$$Q = \pi R^2 H n \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- Q——单孔注浆量 (m³)；
- R——扩散半径 (m)；
- H——松散层（包括脱空）厚度 (m)；
- n——松散层（包括脱空）空隙率 (%)。

6.5.11 浆液扩散半径 R 按式（2）进行计算。

$$R = \alpha \times K \times P \times r \times T_s \times n / B \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- R——浆液扩散半径 (m)；
- r——注浆孔半径 (m)；
- K——渗透系数 (m/s)；
- P——注浆压力 (MPa)；
- T_s——渗透时间 (s)；
- B——粘度 (Pa·s)；
- n——松散层（包括脱空）空隙率；
- α——修正系数，取值120~190。

6.5.12 按照 JTG 3430—2020 中的灌水法测试基层芯样孔洞的体积，按照 JTG E20—2011 中的水中重法测试基层芯样（包括全部松散料）的实体体积，并计算芯样空隙率。

7 注浆施工

7.1 一般规定

7.1.1 注浆施工前应复查路面病害、检测弯沉，与设计前检测变化过大时应动态调整设计方案或注浆参数。

7.1.2 注浆前应进行现场注浆试验段施工，确定和调整注浆设计指标与参数、注浆材料配合比及注浆工艺参数。

7.1.3 夏季施工时，地聚合物注浆宜避开高温时段，在该气温下浆液流动度应满足注浆要求。

7.1.4 日平均气温低于 5℃或最低气温低于-3℃的条件下注浆时，应采取保温措施，防止浆液及管路冻结。

7.1.5 注浆不应产生新的路面裂缝、局部脱空和路面抬升，不准许堵塞路面排水系统。

7.2 钻孔

7.2.1 注浆孔应放样标计孔位。宜采用旋转式钻孔机注水钻孔，钻孔孔径为 30 mm~50 mm。钻孔时应使钻孔对正标注于地面的注浆孔定位喷漆标志，且钻杆应与路面保持垂直，钻孔时要固定好钻孔机，避免出现左右晃动，影响注浆孔的垂直度。

- 7.2.2 钻机应固定牢固、铅直方向开孔，孔深应符合设计要求。
- 7.2.3 钻孔时应在钻孔机的钻杆上标注钻孔深度，以控制钻孔深度，在钻孔后对孔深、间距进行检查，当孔深不满足要求时应补钻，保证孔深满足设计要求。
- 7.2.4 钻孔后宜采用内窥镜观测注浆孔外观，记录孔壁密实和脱空情况。
- 7.2.5 钻孔时产生的芯样和孔渣应用盛样容器装好，待注浆完工后进行集中统一处理，不准许随意乱丢，以免堵塞边沟。

7.3 搅拌

- 7.3.1 应选用高速剪切搅拌机，搅拌机最低转速不小于 1300 r/min，并具备智能精确控制加水量、各掺合料重量的功能。
- 7.3.2 应严格控制材料各组分配合比、水灰比，搅拌时间不少于 90 s。
- 7.3.3 搅拌后的浆液应存储于低速搅拌罐，浆液应保持均匀，避免发生沉淀和离析的现象。
- 7.3.4 注浆施工结束后应及时用水清洗搅拌机、注浆管和压浆机等注浆设备。

7.4 注浆

- 7.4.1 对于固结大空隙松散夹层，采用低压慢速注浆工艺，注浆压力应为 0.5 MPa~1.5 MPa，当注浆压力达到 1.5 MPa 时保持静止 1 min，如无浆液注入即停止注浆，如果有浆液注入则继续注浆。对于注浆填充脱空，注浆压力应为 0.3 MPa~1.0 MPa，当注浆压力达到 1.0 MPa 时保持静止 1 min，如无浆液注入即停止注浆，如果有浆液注入则继续注浆。
- 7.4.2 如果在注浆过程中因注浆压力过大导致注浆孔附近路面出现明显拱起时，应立即停止注浆，之后注浆时应下调注浆压力，直至不出现路面拱起的现象为止。宜采用智能设备监测路面隆起情况。
- 7.4.3 注浆施工时应监视注浆区路面是否抬升，周边路基、边沟是否冒浆等现象，出现异常情况时应立即停止注浆，分析原因，并做好记录。
- 7.4.4 当正在注浆的注浆孔旁的注浆孔开始冒浆时即可停止注浆，并立即用木塞或橡胶塞堵住冒浆孔。
- 7.4.5 注浆结束后，封孔应符合以下规定：
- 拔管后立即封孔，并清洗孔边溢出浆液；
 - 初凝时间过后方可拔除封孔塞。
- 7.4.6 对洒在路面上的浆液采用高压水枪及时清理干净。

7.5 养生

注浆施工结束后应对注浆区域的路面进行封闭交通养生，现场养生或同等条件下养生的硬化浆液试件的抗压强度 > 10 MPa 时，经验收合格后方可开放交通。

7.6 施工质量监控

- 7.6.1 施工过程中应记录每天的天气情况，检测注浆孔间距、孔深度、注浆孔内部表现情况、浆液的流动度，成型立方体试件，各检查项目的频度应符合表 6 要求。

表6 注浆质量检验与评定实测项目

项次	检查项目	规定值或容许偏差	检查频率	检测方法
1	地聚合物注浆材料性能	流动度	每台班2次	附录A
2		1 d, 3 d, 28 d抗压强度	每台班3组	JGJ/T 70
3	水泥基注浆材料性能	流动度	每台班2次	附录A
4		1 d, 3 d, 28 d抗压强度	每台班3组	JGJ/T 70

表6 注浆质量检验与评定实测项目（续）

项次	检查项目	规定值或容许偏差	检查频率	检测方法
5	注浆孔数量	符合设计要求	抽检30%	现场清点
6	注浆孔位偏差（mm）	±25	抽检20%	钢卷尺量测
7	钻孔深度（mm）	+50	抽检20%	施工时钢卷尺量测
8	注浆区芯样情况	芯样完整，结石密实程度	每1 km车道钻芯5个	钻芯，孔深不小于设计深度。
9	弯沉值	不大于验收弯沉值	左右轮迹带，间距20 m	注浆后28 d或开放交通前按JTG 3450—2019中的T 0951—2008或T 0953—2008检测

7.6.2 宜采用内窥镜对注浆孔内部外观情况进行观测，抽检频率不小于5%，以验证设计文件给出的路面结构缺陷类型和严重程度，也可作为注浆后注浆加固效果分析的依据。

7.6.3 注浆过程中应按表6的频率抽检注浆液的流动度，与注浆材料室内标准试验的流动度比较，允许偏差为±1 s，如果偏差超限则需分析原因。

7.6.4 注浆施工应按表6的项目进行检测、控制施工质量。

8 施工质量验收

8.1 一般规定

8.1.1 注浆加固质量验收应符合设计文件等有关要求。

8.1.2 验收不合格的注浆点应进行补注，直至达到质量验收标准。

8.1.3 路面外观洁净，无新增裂缝，平整无隆起，注浆孔浆液饱满。

8.2 工程验收标准要求

8.2.1 现场掺配的注浆材料，应有原材料检验报告，检测项目和指标应符合表1、表3的要求。外购的袋装注浆材料，应有材料检验报告和出厂合格证。

8.2.2 对注浆补强加固后的路面进行外观检查，注浆孔应填满并与原路面齐平，注浆孔附近的路面应无拱起和新增裂缝，且路面应恢复注浆前的清洁、美观。

8.2.3 对注浆补强加固后的路面采用贝克曼梁弯沉仪或FWD进行弯沉检测，如果达到设计要求，则原路面达到补强加固效果。

8.2.4 对注浆补强加固后的路面进行钻芯，观测芯样浆液结石情况，如果原松散材料被固结或原脱空处被浆液结石填充，则原路面达到补强加固效果。

8.2.5 对注浆补强加固后的路面进行地质雷达检测，对比注浆前后地质雷达图像存在的差异，根据差异程度对注浆效果进行定性的总体评价；或采用面波仪进行检测。

8.3 施工质量验收指标

8.3.1 注浆加固后每公里钻芯不少于3个，当注水检查基层底脱空率少于10%时，表明大空隙松散碎石得到固结；或采用2D、3D地质雷达检测注浆段雷达图像情况，或采用面波仪检测，综合评价注浆效果。

8.3.2 注浆后3 d路段代表弯沉、单点弯沉及开放交通前弯沉代表值应符合表6的要求。

8.3.3 钻孔注水检查基层底脱空率>10%时，应在脱空孔周围补充钻孔注浆，然后再次检测。

8.3.4 注浆后路段代表弯沉或单点弯沉不符合设计要求时，应钻孔观察基层缺陷类型，基层缺陷属于

脱空和大空隙型松散缺陷时，应采取补注措施，属于密实型松散缺陷时则认为合格。

8.4 验收资料

8.4.1 验收资料应包括完整的设计文件、施工记录和检评资料等。

8.4.2 施工记录内容应包括：原材料或注浆材料检测结果和出厂合格证，注浆施工日期、注浆孔编号、注浆压力、注浆时间、注浆次数、注浆量、浆液流动度、钻孔数量、孔距、孔深和孔位偏差，浆液结石 1 d、3 d 和 28 d 抗压强度。

8.4.3 检评资料应包括注浆后钻芯情况、弯沉检测结果，以及验收评定结果。

8.4.4 验收合格后，施工路段转入日常养护，验收资料移交管养单位。

9 施工安全和环保

9.1 交通组织与维护

9.1.1 注浆施工作业时交通组织应符合 JTG H30 和 GB 5768.4 中的养护作业区安全防护要求。

9.1.2 应在交通控制区域内进行作业，夜间封闭时，应设好警示灯。

9.1.3 施工作业区应完全隔离封闭，安全防护等级应满足相同路段交通安全防护设施的要求。

9.1.4 道路封闭施工信息应在自治区级及以上公路管理信息平台或道路交通安全管理信息平台上发布，并在高速公路各出入口同步发布信息，路段内可采用可变情报板及施工标志牌加强告示。

9.2 施工作业安全

9.2.1 注浆作业应根据注浆类型特点，严格控制注浆压力，防止管道爆裂和浆体压力对人身或道路结构的伤害。

9.2.2 注浆施工中临时用电使用应符合 JGJ 46 的规定，移动电缆、开关等应按安全用电防护的有关要求进行防护。

9.3 施工环境保护

9.3.1 注浆施工形成的粉尘和废液，其处理应符合环境保护的规定，不准许影响交通安全和环境安全。

9.3.2 钻孔形成的固体废弃物应收集，集中废弃处理。

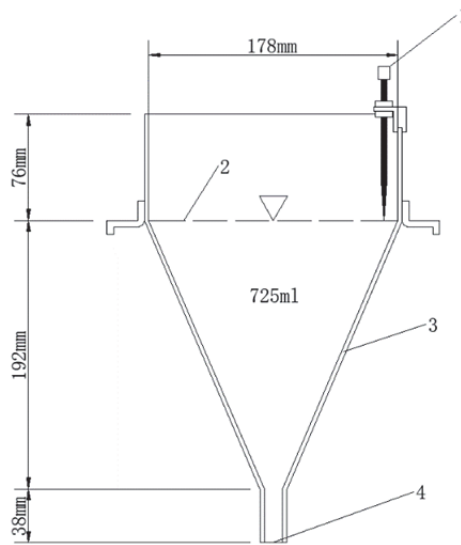
9.3.3 施工过程中宜使用电网供电或其它清洁能源。

附录 A
(资料性)
注浆液流动度试验方法

A.1 仪器

仪器要求如下：

- 试验漏斗，见图 A.1；
- 秒表。



标引序号说明：1—点测规；2—注浆液表面；3—不锈钢3 mm厚；4—流出口（内径13 mm）

图A.1 注浆液流动度试验漏斗

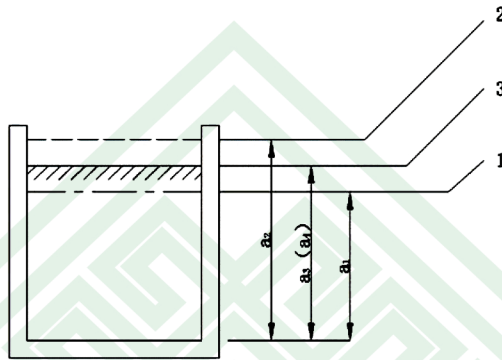
A.2 方法与步骤

- A.2.1 先将漏斗调整放平，关上底口阀门，用湿布湿润试验漏斗内面。
- A.2.2 在注浆机浆液出口用取液容器装取浆液，不少于1 000 mL。
- A.2.3 将搅拌均匀的注浆液倾入漏斗内，直至表面触及点测规下端。
- A.2.4 打开阀门、同时开动秒表开始计时，让注浆液自由流出，注浆液全部流完时间（s），则为注浆液的流动度。

附录 B
(资料性)
注浆液泌水率和收缩率试验方法

B.1 仪器要求

试验容器为圆柱体容器，用有机玻璃制成，带有密封盖，内径为100 mm，高度为150 mm，见图B.1。



标引序号说明：1—最初填灌的注浆液面；2—水面；3—膨胀后的注浆液面。

图B.1 注浆液泌水率和膨胀率试验容器

B.2 试验步骤

- B.2.1 将试验容器置放于水平面上。
- B.2.2 在注浆机浆液出口，用取液容器装取浆液，不少于1 000 mL。
- B.2.3 往容器内填灌水泥浆约100 mm深，测浆液面高度 a_1 ，读数精确至0.1mm，并记录下来，然后盖严。
- B.2.4 置放3 h后量测其析水水面高度 a_2 ，浆液面高度 a_3 ，置放24 h后量测液面高度 a_4 ，读数精确至0.1mm。
- B.2.5 按式 (B.1) 和式 (B.2) 计算泌水率及膨胀率。

$$\text{泌水率} = \frac{100(a_2 - a_3)}{a_1} (\%) \dots\dots\dots (B.1)$$

$$\text{膨胀率} = \frac{100(a_4 - a_1)}{a_1} (\%) \dots\dots\dots (B.2)$$

- B.2.6 泌水率及膨胀率应取2个平行试验数据的算术平均值作为测试结果。

参 考 文 献

- [1] GB 8076—2008 混凝土外加剂
 - [2] DG/TJ 08-2240—2017 道路注浆加固技术规程
 - [3] JGJ 5421—2018 公路沥青路面养护设计规范
 - [4] JTG/T F50—2011 公路桥涵施工技术规范
 - [5] JTG 5210—2018 公路技术状况评定标准
 - [6] JTG 5220—2020 公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
 - [7] JTG D50—2017 公路沥青路面设计规范
 - [8] JTG F80/1—2017 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
-