

高聚物注浆技术在公路养护及改扩建中的应用

臧如红

定远县路桥工程有限责任公司 安徽 滁州 233200

摘要：本文探讨了高聚物注浆技术在公路养护及改扩建中的应用。高聚物注浆材料具有快速固化、良好膨胀性、高强度耐久性等特点，适用于公路病害的快速修复。文章详细分析了高聚物注浆材料的筛选与性能测试方法，以及施工前的准备工作、注浆孔的设计与布置、注浆参数的确定、注浆施工过程以及施工后的养护与验收流程。通过在不同公路病害（裂缝、沉降、脱空）修复中的应用效果评估，证明了高聚物注浆技术能有效提高公路结构的稳定性和承载能力，缩短施工工期，降低长期养护成本，具有显著的经济和社会效益。

关键词：高聚物注浆技术；公路养护及改扩建；病害治理；应用效果

1 高聚物注浆材料的性能与特点

高聚物注浆材料是一种由两种或多种化学物质混合后发生化学反应而形成的高分子聚合物材料。它具有以下独特的性能与特点：（1）快速固化。高聚物注浆材料在注入地基或病害部位后，能在短时间内发生化学反应并固化，通常在几分钟到几十分钟内即可达到一定的强度，从而快速恢复公路的结构承载能力，减少施工对交通的影响；（2）良好的膨胀性。在固化过程中，高聚物材料会发生膨胀，能够填充空隙和裂缝，与周围土体或结构物紧密结合，形成良好的密封和加固效果，有效防止水分和杂物进入病害部位，进一步加剧病害发展；（3）高强度和耐久性。固化后的高聚物材料具有较高的抗压强度和抗拉强度，能够承受较大的荷载和变形。同时，它还具有良好的耐化学腐蚀性和耐老化性能，能够在恶劣的环境条件下长期保持稳定的性能，延长公路的使用寿命；（4）轻质性。高聚物材料的密度相对较小，注入地基后不会增加过多的自重，对地基的附加应力较小，适用于软弱地基和既有结构物的加固修复；（5）可控性。通过调整高聚物材料的配方和注浆工艺参数，可以控制材料的固化时间、膨胀率和强度等性能，满足不同公路病害的修复要求。

1.1 高聚物注浆技术的工作原理

高聚物注浆技术是利用高压注射设备将双组分的高聚物注浆材料按一定比例混合后，通过注浆管注入公路病害部位的地基或结构层中。在注入过程中，高聚物材料以液态形式渗透到土体孔隙或裂缝中，随后发生化学反应并迅速固化膨胀。固化后的高聚物材料与周围土体或结构物形成一个整体，共同承受上部荷载，从而改善地基的力学性能，提高公路结构的稳定性和承载能力，达到修复公路病害的目的^[1]。

2 高聚物注浆材料的筛选与性能测试

2.1 高聚物材料的选择标准

公路养护及改扩建选高聚物注浆材料要遵循一系列标准。力学性能是关键，固化后抗压强度通常不低于3MPa、粘结强度不低于1.5MPa，以承受车辆荷载。固化速度要适宜，一般控制在5-30分钟，兼顾快速固化与扩散填充。膨胀率可调节，范围在100%-300%，依病害类型和程度选择。材料需有良好流动性，初始粘度在100-500mPa·s，便于渗透微小裂缝和空隙。同时，要具备优良耐久性，适应公路复杂环境。环保性不可忽视，需符合国家环保标准，无毒无害。经济性也是考量因素，在满足性能要求前提下，选成本低的材料，降低公路养护及改扩建总体费用。

2.2 候选高聚物材料的性能测试

为筛选适合公路养护及改扩建的高聚物注浆材料，对多种候选材料进行系统性能测试，包括物理、力学、耐久性和环保性能测试。物理性能测试中，用比重瓶法测密度，结果在0.15-0.45g/cm³；旋转粘度计测初始粘度，范围80-600mPa·s；观察法测固化时间，在3-40分钟。力学性能测试，抗压强度用立方体试块（边长50mm）测，范围2.5-8MPa；粘结强度用拉伸试验测，范围1.2-2.5MPa。耐久性测试，耐老化试验抗压强度保留率在70%-90%；耐水试验抗压强度损失率在5%-20%。环保性能测VOC和重金属含量，要求VOC低于100g/L，重金属符合国标。

2.3 适合公路养护及改扩建的高聚物材料确定

依据选择标准和测试结果，综合评估候选材料，确定编号为GP-3的高聚物材料最优。其固化后抗压强度5.2MPa、粘结强度1.8MPa，满足承载要求；固化时间15分钟，兼顾扩散与工期。膨胀率可在150%-250%调节，

适用于不同病害；初始粘度 $200\text{mPa}\cdot\text{s}$ ，流动性佳。耐久性测试中，经紫外线老化1000小时，抗压强度保留率85%；耐水28天，抗压强度损失率8%。环保性能方面，VOC含量 50g/L ，重金属低于国标。且该材料成本低、性价比高，适合公路养护及改扩建大规模应用^[2]。

3 高聚物注浆技术在公路养护及改扩建中的施工工艺

3.1 施工前的准备工作

施工前的准备工作是确保高聚物注浆技术顺利应用的基础。首先，需对公路病害进行详细勘查，通过现场目测、探地雷达检测、钻孔取样等方式，确定病害的类型（裂缝、沉降、脱空等）、位置、范围、深度以及严重程度，绘制病害分布图，为制定注浆方案提供依据。其次，根据病害勘查结果，制定详细的施工方案，包括注浆孔的布置、注浆参数（压力、量）、施工顺序、人员配置、设备安排等。同时，准备好所需的施工设备，如注浆泵（压力范围 $0\sim 10\text{MPa}$ ）、钻孔机（直径 $10\sim 20\text{mm}$ ）、搅拌设备、注浆管等，并对设备进行检查和调试，确保其性能良好。高聚物注浆材料的准备也至关重要，需按照设计配比准备GP-3高聚物材料及相关助剂，检查材料的生产日期、保质期，确保材料质量合格。此外，还需做好施工现场的交通管制和安全防护工作，设置警示标志、围挡等，引导车辆和行人绕行，保障施工安全。

3.2 注浆孔的设计与布置

注浆孔的设计与布置需根据公路病害的类型和特点进行。对于裂缝病害，注浆孔沿裂缝走向布置，孔距根据裂缝宽度确定，一般为 $20\sim 50\text{cm}$ ，裂缝宽度越大，孔距越小；注浆孔深度应达到裂缝底部以下 $5\sim 10\text{cm}$ ，以确保材料能够充分填充裂缝。在沉降处理中，注浆孔采用梅花形布置，孔距为 $1\sim 2\text{m}$ ，行距为 $1\sim 1.5\text{m}$ ，注浆孔深度需穿透基层到达路基顶面，对于严重沉降区域，可适当加深孔深至路基内部 $50\sim 100\text{cm}$ 。对于脱空修复，注浆孔布置在脱空区域的中心及周边，孔距根据脱空范围确定，通常为 $0.5\sim 1.5\text{m}$ ，孔深需达到脱空层底部，确保材料能够填充整个脱空区域。注浆孔的直径一般为 $10\sim 15\text{mm}$ ，采用钻孔机进行钻孔，钻孔过程中需避免对公路结构造成过度破坏。钻孔完成后，清理孔内的碎屑和粉尘，确保注浆通道畅通。

3.3 注浆参数的确定

注浆参数的确定直接影响高聚物注浆技术的应用效果，主要包括注浆压力、注浆量和注浆顺序。注浆压力根据病害类型、公路结构层次和材料性能确定，对于裂缝修复，注浆压力一般控制在 $0.2\sim 0.5\text{MPa}$ ，以避免压力过

大导致裂缝扩展；对于沉降处理和脱空修复，注浆压力需适当提高，通常为 $0.5\sim 1.5\text{MPa}$ ，以保证材料能够充分扩散和膨胀。注浆量根据病害的体积和材料的膨胀率计算确定，对于裂缝，注浆量按裂缝的长度、宽度和深度估算，再乘以材料的膨胀系数（ $1.5\sim 2.5$ ）；对于沉降和脱空区域，通过探地雷达检测确定病害体积，再根据材料膨胀率计算所需注浆量，实际注浆过程中可根据现场反馈适当调整，以材料从病害区域溢出或压力稳定为判断标准。注浆顺序遵循“由外到内、由低到高”的原则，对于大面积病害，先从周边开始注浆，逐步向中心推进，以防止材料向外部流失；对于多层结构的公路，先对下层病害进行注浆，再处理上层病害，确保各层结构紧密结合。

3.4 注浆施工过程

注浆施工过程主要包括以下步骤：首先，将高聚物注浆材料按照一定比例在搅拌设备中充分混合，搅拌时间控制在 $1\sim 2$ 分钟，确保材料均匀混合。然后，将混合好的材料倒入注浆泵的料斗中，连接注浆管与注浆孔，检查注浆设备和管路的密封性。启动注浆泵，按照设定的注浆压力和注浆量进行注浆，注浆过程中需密切观察压力变化和材料扩散情况。当注浆压力突然上升或材料从周边裂缝、注浆孔溢出时，说明病害区域已填充饱满，可停止该孔的注浆。对于多个注浆孔，按照既定的注浆顺序依次进行，相邻注浆孔的注浆间隔时间根据材料固化速度确定，一般为 $5\sim 10$ 分钟，以避免先注浆的材料固化后影响后注浆材料的扩散。注浆过程中如遇到压力异常、材料堵塞等问题，应立即停止注浆，查明原因并处理后再继续施工^[3]。注浆完成后，及时拆除注浆管，对注浆孔进行临时封堵，防止材料倒流。

3.5 施工后的养护与验收

施工后的养护与验收是保证高聚物注浆技术应用效果的重要环节。养护期间需对施工区域进行封闭，禁止车辆和行人通行，养护时间根据材料固化情况确定，一般为 $2\sim 4$ 小时，待材料完全固化并达到设计强度后开放交通。养护期间需定期检查注浆区域的状况，观察是否有材料溢出、路面变形等情况，如有异常及时处理。验收工作包括外观检查和性能检测，外观检查主要查看注浆孔封堵是否平整、路面是否有新的裂缝或变形；性能检测采用钻芯取样、平整度检测、弯沉检测等方法，钻芯取样观察材料填充是否密实，平整度检测采用3米直尺，误差应控制在 5mm 以内，弯沉检测采用贝克曼梁或落锤式弯沉仪，要求弯沉值符合设计要求。对于验收不合格的区域，需分析原因并进行补注浆处理，直至达到验收

标准。

4 高聚物注浆技术在不同公路病害修复中的应用效果评估

4.1 在裂缝修复中的应用效果

在裂缝修复中,采用高聚物注浆技术后,对修复效果进行了为期6个月的跟踪评估。外观检查发现,修复后的裂缝均被高聚物材料密封,无水分、杂物侵入现象,裂缝未出现进一步扩展。通过钻芯取样观察,高聚物材料与裂缝壁粘结紧密,填充密实,形成了连续的防渗体。性能检测结果显示,修复区域的路面平整度良好,3米直尺测量误差均在3mm以内;弯沉值与周边完好路面相比无明显差异,表明裂缝修复后公路结构的承载能力得到有效恢复。与传统的灌缝技术相比,高聚物注浆技术修复的裂缝在6个月内未出现二次开裂,而传统灌缝技术修复的裂缝有15%出现了不同程度的开裂,说明高聚物注浆技术在裂缝修复中的效果更为持久。

4.2 在沉降处理中的应用效果

针对公路沉降病害,应用高聚物注浆技术后,对沉降区域的抬升量和路面性能进行了检测。施工后1天,沉降区域的平均抬升量达到3.5cm,基本恢复到设计标高;施工后1个月,抬升量稳定在3.2cm,无明显回落。路面平整度检测显示,修复后的沉降区域3米直尺测量误差为4mm,满足行车要求。弯沉检测结果表明,修复区域的弯沉值从修复前的0.15mm降至0.08mm,接近完好路面的弯沉值(0.07mm),说明地基土的承载能力得到显著提高。长期跟踪观察6个月后,沉降区域未出现再次沉降,路面结构稳定,车辆行驶平稳,表明高聚物注浆技术在沉降处理中能够有效提高地基土的密实度,恢复公路的使用性能^[4]。

4.3 在脱空修复中的应用效果

在脱空修复中,通过探地雷达检测发现,采用高聚物注浆技术后,脱空区域被材料完全填充,无空洞存在。钻芯取样显示,高聚物材料与基层、面层粘结牢固,形成了整体结构。路面承载能力检测中,修复区域的弯沉值从修复前的0.20mm降至0.09mm,与无脱空区域的

弯沉值相当,表明脱空修复后公路结构的受力性能得到恢复。在车辆荷载反复作用下,跟踪观察6个月,修复区域未出现新的脱空和路面破损现象,而采用传统开挖回填技术修复的脱空区域,有8%出现了轻微的结构变形,说明高聚物注浆技术在脱空修复中具有更好的稳定性。

4.4 综合应用效果评价

综合来看,高聚物注浆技术在公路不同病害修复中均表现出良好的应用效果。在施工效率方面,该技术无需大面积开挖,单车道施工可在4-6小时内完成,较传统养护技术(如开挖回填)节省工期70%以上,对交通的影响较小。在经济效益方面,高聚物注浆技术的单位面积造价虽然高于传统灌缝技术,但低于开挖回填技术,且由于其修复效果持久,减少了后期的重复养护费用,从长期来看具有明显的经济优势。以1公里长、3.75米宽的公路裂缝修复为例,高聚物注浆技术的初期造价为传统灌缝技术的1.5倍,但使用寿命是传统灌缝技术的3倍以上,年均养护成本降低40%。

结束语

综上所述,高聚物注浆技术在公路养护及改扩建领域展现出了巨大的应用潜力和优势。通过精确的材料筛选、科学的施工工艺和严格的施工后管理,该技术能够有效解决公路病害问题,提升公路的行车安全性和舒适性。随着技术的不断进步和成本的进一步降低,高聚物注浆技术有望在公路养护中得到更广泛的应用和推广,为我国公路事业的持续发展提供有力支持。

参考文献

- [1]马磊.高聚物注浆技术在高速公路路面深层病害处治中的应用研究[J].科学技术创新,2022(9):145-147.
- [2]李聪鑫.高聚物注浆技术在高速公路路面病害处治中的应用[J].福建交通科技,2020(8):32-35.
- [3]辛虎云.预防性公路养护技术在现代公路养护中的应用分析[J].运输经理世界,2024,(15):138-140.
- [4]李元林.预防性公路养护技术在现代公路养护中的应用分析[J].运输经理世界,2023,(01):125-127.