

公路路基沉陷注浆处治技术研究

张龙¹ 陈聪²

1. 襄阳路桥建设集团有限公司 湖北 襄阳 441000

2. 湖北利民建设工程咨询有限公司 湖北 襄阳 441000

摘要: 通过深入研究公路路基沉陷注浆处治技术,系统分析注浆孔的设计与布置、注浆参数的确定以及施工过程与质量控制等关键环节,探讨注浆技术在改善地基承载力、控制路基沉陷方面的有效性。研究表明,合理的注浆孔布置与参数设定,结合严格的施工管理与质量控制,能够显著提升注浆处治效果,为公路工程的稳定性和安全性提供有力保障。本研究为公路路基沉陷治理提供了科学依据和技术支持。

关键词: 公路路基; 沉陷注浆; 处治技术

1 公路路基沉陷注浆处治技术的重要性

公路路基沉陷注浆处治技术的重要性不言而喻,它直接关系到公路的安全运营、行车舒适度、维护成本以及使用寿命。第一、路基沉陷是公路运营过程中常见的病害之一,它可能由多种因素引起,如地质条件不良、地下水位变化、施工质量不达标或车辆超载等。这些沉陷问题若不及时处理,将严重影响公路的通行能力和行车安全,甚至可能引发交通事故,对人民群众的生命财产安全构成威胁。第二、注浆处治技术作为一种高效、经济的路基修复手段,通过向路基内部注入特定配比的水泥浆液或其他化学浆液,填充路基中的空洞、裂隙和软弱层,从而增强路基的整体强度和稳定性。这种技术不仅能够快速有效地解决路基沉陷问题,还能在一定程度上预防未来沉陷的发生,延长公路的使用寿命。第三、从经济角度来看,注浆处治技术相比传统的开挖换填等方法,具有施工周期短、对交通影响小、成本相对较低等优势,它能够在不中断或少中断交通的情况下进行作业,减少了因施工造成的经济损失和社会影响。

2 公路路基沉陷原因分析

2.1 地质地形条件缺陷

地质地形条件是公路路基稳定性的基石,其复杂性和多样性往往成为路基沉陷的潜在因素。在软土地区,土壤的高压缩性和低承载力使得路基在受到车辆荷载和自然环境作用时,易发生显著的压缩变形,进而导致路面沉陷^[1]。湿陷性黄土则因其遇水后的特殊性质,使得路基在雨季或地下水位上升时,迅速失去原有的承载力,造成大面积的路基沉陷,岩溶地貌中的溶洞、暗河等地质构造如同路基下的“定时炸弹”,一旦受到施工扰动或地下水位变化的影响,便可能引发路基下方空洞的坍塌,造成严重的路基沉陷事故。

2.2 气候条件影响

气候条件作为自然环境的重要组成部分,对公路路基的稳定性和耐久性具有深远的影响。长期降雨会导致路基土壤含水量增加,土壤颗粒间的粘结力减弱,进而降低路基的承载力,引发沉陷现象。在干旱季节,土壤因水分蒸发而收缩开裂,这些裂缝不仅削弱了路基的整体性,还可能成为雨水下渗的通道,加剧路基的侵蚀和沉陷。而在寒冷地区,反复的冻融循环会导致路基材料体积的周期性变化,这种疲劳效应会逐渐削弱路基的强度,最终引发沉陷,极端天气如暴风雪、冰雹等也可能对路基造成直接冲击,加速其沉陷过程。

2.3 施工缺陷

施工过程中的质量控制是确保公路路基稳定性的关键环节。在实际施工过程中,由于材料选用不当、施工工艺不规范、施工监管不到位等原因,往往会出现各种施工缺陷。例如,使用不符合设计要求的路基填料,其物理力学性质可能无法满足路基承载力的要求;压实度不足则会导致路基内部存在大量空隙和软弱层,降低其整体密实度和稳定性;排水系统设计不合理或施工不当则可能导致路基长期受水浸泡,引发软化和沉陷,施工人员的技术水平、责任心以及施工管理的有效性等因素也会对路基质量产生重要影响。

2.4 荷载车辆影响

随着交通运输业的快速发展,车辆荷载对公路路基的影响日益凸显。超载、重载车辆的频繁通行使得路基承受了远超设计标准的压力负荷,导致路基土体发生塑性变形和累积损伤,进而引发沉陷现象。特别是在交通流量大、重载车辆比例高的路段,这种影响更为显著,车辆行驶过程中产生的动荷载也会对路基产生冲击作用,加剧其疲劳损伤和沉陷风险。

3 公路路基沉陷注浆处治技术

3.1 利用浆液固结和增强地基

在公路路基沉陷的注浆处治技术中，利用浆液固结和增强地基是核心环节。该技术通过向路基下方或周边注入特定配比的浆液（如水泥浆、化学浆液等），利用浆液的流动性、渗透性和胶凝性，填充路基中的空洞、裂隙和软弱层，从而改善地基的物理力学性质，提高其承载力和稳定性。浆液在注入过程中，会逐渐扩散并渗透到地基的微小孔隙和裂隙中，形成连续的固结体。随着浆液的凝固和硬化，原本松散的土壤颗粒被紧密地粘结在一起，地基的整体性和强度得到显著提升。这种固结作用不仅能够有效防止地基的进一步沉降，还能显著增强地基抵抗外部荷载的能力^[2]。注浆浆液中的某些成分还可能与地基土发生化学反应，生成具有更高强度和稳定性的化合物。这种化学反应能够进一步加固地基，提高其耐久性和长期稳定性。

3.2 材料的物理与化学性质

注浆材料的物理与化学性质对于注浆处治技术的效果至关重要。常见的注浆材料包括水泥浆、化学浆液（如聚氨酯、环氧树脂等）以及复合浆液等。这些材料在物理和化学性质上各有特点，适用于不同类型的地基条件和沉陷情况。水泥浆作为传统的注浆材料，具有价格低廉、来源广泛、施工简便等优点。其物理性质主要表现为良好的流动性和凝结硬化性，能够迅速填充地基中的空隙并形成坚实的固结体，水泥浆中的水泥水化产物与地基土发生化学反应，生成具有胶凝性质的化合物，进一步增强地基的强度。化学浆液则具有更高的渗透性和可注性，能够深入到地基的微小孔隙和裂隙中。其化学性质使得浆液在注入后能够迅速发生反应并固化，形成具有高强度和耐久性的固结体。不同类型的化学浆液在反应速度、固化强度、抗渗性等方面存在差异，因此需要根据具体地基条件和工程要求进行选择。复合浆液则是将两种或多种注浆材料按一定比例混合而成的新型注浆材料，通过优化材料配比和注浆工艺，复合浆液能够综合发挥各组成材料的优势，提高注浆处治技术的整体效果。

3.3 注浆设备与工艺流程

注浆设备与工艺流程是注浆处治技术得以实施的重要保障。注浆设备主要包括注浆泵、注浆管、搅拌机 etc，这些设备在注浆过程中各司其职，共同完成浆液的制备、输送和注入等任务。注浆工艺流程一般包括以下几个步骤：首先进行现场勘察和地质勘探，确定注浆范围和注浆参数；然后制备符合要求的注浆浆液，并调整

注浆设备的参数以确保注浆效果；接着进行注浆孔的施工和安装注浆管；最后启动注浆泵将浆液注入地基中，并根据注浆压力和注浆量等参数控制注浆过程。在注浆过程中，需要密切关注注浆压力和注浆量的变化情况，以及及时调整注浆参数和采取必要的措施。

3.4 注浆设备的选择与使用

注浆设备的选择与使用对于注浆处治技术的效果和安全性具有重要影响。在选择注浆设备时，需要考虑注浆材料的性质、注浆工艺的要求以及工程现场的实际情况等因素。注浆泵作为注浆设备的核心部件，其性能直接影响到注浆效果和注浆效率，在选择注浆泵时，需要根据注浆压力、注浆量以及浆液性质等参数进行综合考虑。同时还需要考虑注浆泵的耐用性、维护性和操作便捷性等因素，以确保注浆过程的顺利进行。注浆管的选择则需要根据注浆孔的直径、深度和注浆材料的要求来确定。注浆管应具有良好的耐腐蚀性和耐磨性，以确保在注浆过程中不发生泄漏或损坏，注浆管的连接方式也应简单可靠，以便于施工和维护。在注浆设备的使用过程中，需要严格遵守操作规程和安全规定，确保设备的正常运行和人员的安全。同时还需要定期对设备进行维护和保养，以延长其使用寿命并提高其工作效率，随着科技的进步和工程实践的发展，注浆设备也在不断更新换代，因此需要及时关注新技术、新设备的发展动态，以便更好地满足工程实践的需求。

4 注浆处治技术在公路路基沉陷中的应用

4.1 注浆孔的设计与布置

在公路路基沉陷的注浆处治技术中，注浆孔的设计与布置是至关重要的一步，它直接关系到注浆效果的好坏和工程成本的高低。注浆孔的设计需综合考虑地质条件、沉陷范围、注浆材料特性以及施工条件等多种因素。地质条件是注浆孔设计的基础，通过地质勘探和现场调查，了解地基的土层分布、岩土性质、地下水位及水流方向等信息，为注浆孔的设计提供科学依据。对于不同地质条件，注浆孔的设计需采取不同的策略，如在软土地区，注浆孔应加密布置，以提高注浆的均匀性和有效性；在岩溶地区，则需根据溶洞、暗河的分布情况，确定注浆孔的位置和深度，确保浆液能够充分填充空洞^[3]。沉陷范围是注浆孔布置的重要依据，通过测量和分析沉陷区域的形状、大小及深度，确定注浆孔的数量、间距和排列方式。一般来说，注浆孔应围绕沉陷区域边缘布置，形成包围圈，同时根据沉陷的严重程度，在沉陷中心区域加密布置注浆孔，以增强注浆效果。注浆材料特性也是注浆孔设计需考虑的因素之一，不同注

浆材料具有不同的流动性、渗透性和固化时间等特性,这些特性将影响注浆孔的设计参数。施工条件也是注浆孔设计不可忽视的因素,施工现场的地形、地貌、交通状况以及施工设备的性能等都将影响注浆孔的施工难度和成本。在设计注浆孔时,需充分考虑施工条件,制定合理的施工方案,确保注浆孔的施工质量和效率。注浆孔的布置应遵循一定的原则,如均匀性、对称性和经济性。均匀性是指注浆孔应均匀分布在沉陷区域内,以保证注浆效果的均匀性;对称性是指注浆孔应围绕沉陷中心对称布置,以增强注浆效果;经济性则是指在保证注浆效果的前提下,尽量减少注浆孔的数量和深度,以降低工程成本。

4.2 注浆参数的确定

注浆参数主要包括注浆压力、注浆量、注浆速度以及浆液配比等。注浆压力是注浆过程中的重要参数之一,它决定了浆液在地基中的扩散范围和渗透深度。注浆压力的选择需根据地基的岩土性质、注浆孔的直径和深度以及注浆材料的特性等因素综合考虑。一般来说,注浆压力应逐渐升高,以避免对地基造成过大的冲击和破坏;还需根据注浆过程中的实际情况及时调整注浆压力,以确保注浆效果。注浆量是指单位时间内注入地基中的浆液体积,注浆量的确定需根据地基的沉陷情况、注浆孔的布置以及注浆材料的特性等因素综合考虑。在注浆过程中,需严格控制注浆量,避免过量注浆导致地基隆起或浆液浪费;还需根据注浆压力的变化情况及时调整注浆量,以确保注浆效果。注浆速度是指浆液在注浆孔中的流动速度,注浆速度的选择需根据注浆材料的流动性、注浆孔的直径和深度以及施工条件等因素综合考虑,注浆速度应适中,过快或过慢都可能导致注浆效果不佳。在注浆过程中,需根据注浆压力和注浆量的变化情况及时调整注浆速度,以确保浆液能够均匀、稳定地注入地基中。浆液配比是指注浆材料中各组分的关系,浆液配比的确定需根据地基的岩土性质、注浆目的以及注浆材料的特性等因素综合考虑。

4.3 施工过程与质量控制

注浆处治技术的施工过程是一个复杂而精细的过程,需要严格控制各个环节的质量和进度。在施工过程中,需遵循一定的施工流程和操作规范,以确保注浆效果和质量。首先,需进行注浆前的准备工作,这包括注

浆孔的施工、注浆设备的调试和检查、注浆材料的准备和配制等。注浆孔的施工需按照设计要求进行钻孔、清孔和安装注浆管等操作;注浆设备的调试和检查需确保设备性能稳定可靠;注浆材料的准备和配制需按照配比要求进行称量、搅拌和输送等操作^[4]。其次,需进行注浆操作,在注浆过程中,需严格控制注浆压力、注浆量和注浆速度等参数,并根据注浆过程中的实际情况及时调整参数。还需注意观察注浆压力和注浆量的变化情况,以及时发现和解决注浆过程中出现的问题。在注浆过程中,还需注意保护注浆孔和注浆管等设备设施的安全和稳定。最后,需进行注浆后的处理工作,这包括注浆孔的封堵、注浆效果的检测和评估以及施工现场的清理等。注浆孔的封堵需采用合适的材料和方法进行封堵处理;注浆效果的检测和评估需通过测量和分析注浆前后地基的变形情况、承载力变化以及注浆效果的持久性等多方面指标来综合评判;施工现场的清理则需彻底清除注浆过程中产生的废弃物,恢复现场整洁,确保后续工作的顺利进行。

结束语

公路路基沉陷注浆处治技术作为一种高效、经济的地基加固手段,在公路工程中具有广泛应用前景。通过不断优化注浆孔设计、精确控制注浆参数以及强化施工质量控制,注浆处治技术能够有效解决路基沉陷问题,提升公路的整体性能和使用寿命。未来,随着材料科学、施工技术的不断进步,注浆处治技术将在公路工程建设中发挥更加重要的作用,为交通运输事业的持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]刘春来.高速公路路基沉陷原因及注浆施工技术的应用[J].交通世界,2022(Z2):101-102.DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2022.z2.085.
- [2]左小林.高速公路路基沉陷注浆施工技术的应用[J].交通世界,2021(22):93-94.DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2021.22.044.
- [3]穆川川.高速公路路基沉陷注浆施工技术研究[J].四川建材,2021,47(06):177+190.
- [4]朱亚伟.市政道路路基沉陷与处治措施研究[J].山西建筑,2018,44(31):145-146.