

Design and construction of grouting reinforcement for sinking of highway subgrade

ChuanLin Qin

Chongqing Jiaotong University Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Chongqing, 400074, China

Abstract

This article deeply studies the design and construction technology of grouting reinforcement for highway subgrade subsidence. In response to the increasingly prominent problem of roadbed subsidence, this article elaborates on the technical points of the entire process from preliminary investigation and analysis to construction process control. In the design phase, various methods are used to investigate the causes and degree of roadbed subsidence, and scientifically determine the grouting reinforcement plan. The design content includes key elements such as grouting area division, hole layout, and slurry ratio. The construction process focuses on site preparation, equipment installation, drilling technology, grouting parameter control, and other construction procedures. At the same time, specific requirements are proposed for monitoring the construction process, including dynamic monitoring of settlement and detection of slurry diffusion range, to ensure the reinforcement effect.

Keywords

roadbed subsidence; Grouting reinforcement; design scheme

公路路基下沉注浆加固设计与施工

秦川林

重庆交通大学工程设计研究院有限公司, 中国 · 重庆 400074

摘要

本文深入研究公路路基下沉注浆加固的设计与施工技术。针对路基下沉问题日益突出的现状,详细阐述了从前期调查分析到施工过程控制的全过程技术要点。在设计阶段,通过多种手段调查路基下沉原因与程度,科学确定注浆加固方案。设计内容包括注浆区域划分、孔位布置、浆液配比等关键要素。施工环节重点介绍了场地准备、设备安装、钻孔工艺、注浆参数控制等施工工序。同时对施工过程监测提出具体要求,包括沉降量动态监测和浆液扩散范围检测,确保加固效果。

关键词

路基下沉; 注浆加固; 设计方案

1 引言

公路路基作为承载车辆荷载和传递应力的重要结构,直接影响道路运营的安全性和舒适性。注浆加固技术凭借施工便捷、对交通干扰小等优点,逐渐成为处理路基下沉的主要技术措施。深入研究路基下沉注浆加固的设计与施工工艺,对于提升公路养护水平、加强路基设计具有重要意义。

2 路基下沉注浆加固的设计方案

2.1 路基下沉情况调查与分析

2.1.1 下沉原因分析

首先要开展全面详细的路基下沉现状调查工作,对路面进行仔细观察并记录裂缝、沉降情况。在外观检查的基础上,利用雷达检测仪器探测路基内部结构,发现空洞疏松等

隐患。接着利用钻孔取样方式深入了解路基填料的物理力学性质,并对填料级配、填料强度进行分析,发现其与设计要求的偏差。从环境因素着手,调查该路段地下水位变化情况及降雨对路基的影响程度。还要收集交通量数据,确定交通荷载等级,同时分析超载车辆对路基产生的附加应力。通过多方面的调查数据,除路堤边坡垮塌、路堤防护病害、路基排水不畅等原因引起路基下沉外,最终确定边坡及防护功能完好路基下沉的主要原因:填料级配不合理导致内部结构松散,路基压实度未达到设计及规范要求,加上持续超载荷载作用使路基产生永久变形^[1]。

2.1.2 路基下沉程度与范围测定

为了准确掌握路基下沉的具体情况要进行详细的测量工作。先沿路线方向每隔五米设置一个观测断面,每个断面上布设五个测点,分别位于路中心线和两侧路肩。采用精密水准仪连续观测一周,每天测量两次记录各测点标高的变化值。然后根据采集的数据绘制等值线图,清晰显示出下

【作者简介】秦川林(1978-),男,中国四川安岳人,本科,高级工程师,从事公路路线、路基研究。

沉的范围和中心位置。在路基范围内钻取土样，通过室内试验获得填料的含水量密度等指标，为后续设计提供依据。

2.2 注浆加固设计要点

2.2.1 确定注浆区域与深度

根据前期调查结果确定注浆加固的具体方案，先划定注浆区域范围以实测下沉范围为基础，如图一，向外扩展2米作为加固范围，这样可以保证注浆效果的连续性。注浆深度从路面算起共8米，分为三个加固层：表层0-3米采用高强度水泥浆液，中层3-6米使用改性水泥浆液，底层6-8米选用超细水泥浆液。在注浆区域周边设置1米宽的隔离带，防止浆液流失。注浆孔采用梅花形布置，主孔间距3米，在主孔之间加设补孔，间距1.5米。横向每排布设3个注浆孔，第一排位于下沉区域上游5米处，最后一排位于下游5米处，保证注浆范围完全覆盖病害段落。



图一 某地地地下沉加固施工图

2.2.2 设计注浆孔布置

针对不同深度层位的土质特点，设计了三种浆液配比。表层采用水泥浆液，水灰比0.8，掺入膨胀剂提高浆液的充填效果；中层选用水泥-水玻璃双液浆，水泥浆水灰比0.7，水玻璃浓度32波美度；底层使用超细水泥浆液，水灰比0.9，添加减水剂改善流动性。注浆压力按深度逐级提高，表层控制在0.2-0.3MPa，中层为0.3-0.4MPa，底层可达到0.4-0.5MPa。注浆量根据不同层位的孔隙率确定，一般控制在0.3-0.5立方米每米深度。整个注浆过程采用分层、分段、间歇式注浆工艺，最终保证浆液充分扩散。

2.2.3 确定浆液类型与配比

选用水泥-水玻璃双液浆作为注浆材料，水泥浆液由普通硅酸盐水泥、膨胀剂和减水剂组成，水灰比0.7-0.8。水玻璃浆液选用模数2.4-2.8的钠水玻璃，浓度控制在30-35波美度。双液配比为水泥浆：水玻璃=1:1。浆液具有良好的流动性和微膨胀性，能充分填充路基孔隙并形成稳定结构^[2]。

2.3 加固效果指标

2.3.1 路基承载力的提高标准

注浆加固工程的关键在于提升路基整体承载能力，为保证加固效果，制定了详细的路基承载力提高标准。在工

程实施前先对路基原有承载力进行检测，作为加固效果评价的基准值。加固结束后通过现场荷载试验检测路基承载力，试验采用直径300毫米的刚性承载板，荷载分级加载至160kPa，记录各级荷载对应的沉降值。同时利用静力触探试验测定地基承载力特征值，探头直径36毫米，以每秒2厘米的速度匀速压入，连续记录贯入阻力。路基承载力特征值必须达到160kPa以上，路基顶面综合回弹模量不得低于40MPa，并根据公路等级及交通荷载等确定具体要求，以保证路基具备足够的承载强度。为了确保路基整体稳定性，还应要求路基表层压实度必须达到95%以上，下层填料压实度不低于93%，通过环刀法和灌砂法检测压实度指标。对于路基范围内不同位置的承载力值，其差异不应超过20%，避免产生不均匀变形。

2.3.2 沉降量控制目标

路基沉降控制直接影响道路使用性能和行车舒适度，因此对沉降量控制制定了严格标准。在注浆施工过程中，路基表面沉降量不得超过5毫米，为此需要布设沉降观测点进行实时监测。施工完成后进入沉降观测期，在90天时间内累计沉降量严格控制在10毫米以内，观测频率为前30天每天一次，中期每三天一次，后期每周一次。差异沉降是影响路面平整度的重要因素，规定相邻测点间沉降差异比值不得超过2‰，确保路面行车平顺性。对于与桥梁衔接段等特殊路段，采取更加严格的控制标准，施工期间沉降量不超过3毫米，施工后累计沉降量控制在5毫米以内，避免产生跳车现象。在桥头路基范围内加密布设观测点，间距由常规的10米缩短至5米，增加监测频次，发现异常立即采取补强措施。利用严格的沉降控制保证路基加固效果持久稳定，延长道路使用寿命。

3 注浆加固的施工工艺与流程

3.1 前期准备工作

3.1.1 场地清理与布置

施工现场的布置工作需要统筹考虑多个环节，施工团队首先会对现场进行全面细致的清理，包括清除各类建筑垃圾和障碍物。随后通过专业机械设备对场地进行平整处理，并采用重型压路机进行多遍压实。为了让施工安全和管理规范，工程负责人将组织设置醒目的彩钢板围挡，并在围挡上张贴安全警示标语。施工区域划分上采用彩色标线将作业区和材料堆放区明确分开，便于现场施工管理。另外应对可能的降雨天气，施工团队会在场地周边开挖排水沟并铺设排水管网，同时修建防雨工作棚来存放注浆设备和水泥等原材料。工程测量人员则会在施工区域设置多个观测基准点，这些基准点的位置要选在稳定性好且便于观测的地方。考虑到施工对交通的影响，现场负责人会根据道路车流量分布规律来安排每天的施工时段，并在来往车辆较少的时段进行主要施工作业。

3.1.2 钻孔设备与注浆设备的安装

注浆工程的设备安装环节涉及多个系统的协同配合。工程采用大型履带式钻机进行钻孔施工,这种钻机具有较强的机动性。搅拌系统配备了双轴强制式搅拌机,可以保证浆液搅拌均匀。储浆系统则包括多个容积合适的储浆罐和沉淀罐,方便浆液的存储和输送。注浆泵选用柱塞式高压泵,具有较大的泵送压力的流量输出。现场技术人员在安装钻机定位系统时会采用激光水平仪进行反复校准,确保钻杆的垂直度控制在规范要求范围内。管路系统的连接采用专用高压胶管和卡箍,所有接口都要进行认真检查处理。在设备调试阶段,操作人员会进行空载和负载试运转,并做好详细记录。为应对可能的设备故障,现场还配备了性能相当的备用设备。压力表和流量计等监测仪表的安装位置要便于观察,并定期进行校验以保证数据准确性^[9]。

3.2 注浆施工工艺

3.2.1 钻孔布置与施工

钻孔施工是整个注浆工程的重要基础环节,技术人员依据设计图纸采用全站仪进行精确放样,每个钻孔位置都要做好标记并编号。钻孔施工采用干钻工艺,这样可以避免降低地基承载力。钻进作业要严格控制钻进速度,一般保持在每分钟 0.5 到 1 米之间,这种速度既能保证钻孔质量又不会影响施工效率。钻孔深度达到设计要求后要用高压风机彻底清孔,确保孔内无松散土渣。钻孔完成后及时安装注浆管,采用内径 25 毫米的无缝钢管,管壁厚度要满足承压要求。注浆管下端安装特制的止浆塞,这种止浆塞具有较好的密封性能,注浆管的端部开设多个小孔,孔径和间距都要符合设计规范,这样有利于浆液均匀扩散,施工人员在安装注浆管时要特别注意保护钻孔壁,防止塌孔。

3.2.2 注浆参数控制

注浆施工过程需要精细控制各项技术参数,注浆压力采用阶梯式提升方法,从初始的 0.2 兆帕逐渐增加到 0.5 兆帕,这样可以避免瞬时高压造成地层破坏。不同土层的注浆量要根据实际情况确定,一般在每米 0.3 到 0.5 立方米之间。操作人员采用间歇式注浆工艺,先注浆 15 到 20 分钟然后暂停 30 分钟,这种方式有利于浆液充分扩散。浆液的配制要严格控制水灰比和外加剂用量,确保流动性和凝固性能符合要求,初凝时间控制在 15 到 30 分钟比较合适,这样既能保证浆液扩散又不会产生窜浆,终凝时间不能超过 4 小时,以便及时进行下一道工序施工。施工人员要密切观察地面隆

起情况,发现异常要立即调整注浆参数或暂停施工。分层注浆时要控制好层间时间间隔,确保下层浆液达到一定强度后再进行上层注浆。

3.2.3 浆液凝固时间与层间控制

施工过程的监测工作贯穿整个工程始终。监测人员在施工区域布设多个位移监测点,监测点之间的间距保持在 5 到 10 米左右。采用高精度水准仪每天定时进行观测,并详细记录数据。技术人员根据监测数据绘制沉降-时间曲线,通过曲线变化趋势分析加固效果。当发现异常沉降时要立即分析原因并采取措施,声波检测是监测浆液扩散范围的有效手段,检测人员在注浆区域周边布设检测孔,通过声波测试数据分析充填效果,如果发现充填不均匀的区域要及时增设补充注浆孔,定期采集土样进行室内试验,检验加固体的强度。超声波检测可以评估加固体的连续性,避免出现夹层或孔洞,现场质检人员要对每道工序进行验收,确保施工质量符合规范要求。

3.3 施工过程监测

施工过程中需要对路基沉降情况进行动态监测,以评估注浆的加固效果。在施工区域设置监测点位,间距一般控制在 5 到 10 米之间,监测点布置完成后,技术人员利用高精度水准仪每天进行两次观测,并详细记录地表的沉降变化数据。通过绘制沉降-时间曲线,技术人员可以直观了解注浆前后的沉降变化趋势。如果发现沉降速率超过每天 2 毫米,要立即采取额外的补救措施。通过实时监测和快速调整可有效保证路基的稳定性,防止施工后的沉降问题对道路使用造成隐患。

4 结语

本文通过系统阐述设计方案制定、施工工艺控制和质量管理等环节的技术要点,建立了一套完整的技术体系。在实际应用中,工程人员要充分考虑具体工程特点,合理选择技术参数,严格控制施工质量。特别要注意施工过程中的动态监测和及时调整,确保加固效果持续稳定。

参考文献

- [1] 李锦.高速公路路基防护与加固处理技术研究[J].汽车周刊,2024,(10):255-257.
- [2] 李延宁.公路路基下沉的处理措施[J].交通世界,2021,(21):127-128.
- [3] 岳辉,万军利.某高速公路软土路基注浆加固设计及施工[J].四川建材,2019,45(03):179-181.