

路基沉陷注浆技术在高速公路施工中的应用

丁伟

江苏现代路桥有限责任公司，江苏 南京 210000

[摘要]在高速公路开展施工以及运营活动期间，倘若没有全面充分地考量诸多影响因素，那么就极有可能致使路基的质量达不到标准要求，进而产生多种多样的工程方面的质量问题，在这些质量问题当中，路基沉降属于最为普遍并且影响颇为突出的一种情况。这种沉降一方面会使得道路的平整程度有所降低，另一方面还有可能对整体结构的安全性造成影响，最终使得高速公路的使用期限得以缩短。要想切实有效地对路基沉陷加以抑制，提升路基所具备的承载能力以及稳定性，那就必须要运用科学且合理的加固技术来对其进行相应的处理操作。

[关键词]路基沉陷注浆技术；高速公路；公路施工；技术应用

DOI: 10.33142/ec.v8i9.18002

中图分类号：U415

文献标识码：A

Application of Roadbed Subsidence Grouting Technology in Highway Construction

DING Wei

Jiangsu Xiandai Road and Bridge Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: During the construction and operation of highways, if many influencing factors are not fully considered, it is highly likely that the quality of the roadbed will not meet the standard requirements, resulting in various engineering quality problems. Among these quality problems, roadbed settlement is the most common and prominent one. On the one hand, this settlement may reduce the smoothness of the road, and on the other hand, it may also affect the safety of the overall structure, ultimately shortening the service life of the highway. In order to effectively suppress roadbed subsidence, enhance the bearing capacity and stability of the roadbed, it is necessary to use scientific and reasonable reinforcement techniques to carry out corresponding treatment operations.

Keywords: grouting technology for roadbed subsidence; highway; highway construction; technology application

引言

在高速公路开展建设以及运营活动期间，路基出现沉陷这一情况始终都是对道路平整度、安全性以及使用寿命产生影响的关键要素。伴随交通流量不断地增加，而且重载车辆频繁地在道路上通行，路基在长时间受到荷载作用的情形下，比较容易出现不均匀的沉降状况。特别是在那种土壤属于软土、淤泥质土或者说是填方路基所在的区域，沉陷的情况不但会使得行车的舒适性受到影响，而且还极有可能引发路面出现裂缝、排水系统运行不顺畅乃至造成结构性的破坏等问题，进而给高速公路的安全运营埋下了潜在的风险隐患。传统用于路基加固的方法，像换填、夯实或者是预压处理等，在特定的一些地质条件之下，存在着施工周期偏长、耗费的成本较高亦或是会对交通造成干扰等诸多局限性。然而注浆加固技术作为一种具备高效性、可控制性并且针对性较强的地基处理方式，正逐步变成解决路基沉陷问题的重要途径。此项技术是把浆液注入到路基土体内部的孔隙或者是裂缝当中，以此来填充那些空隙，强化土体的密实程度以及提升其承载能力，进而能够有效地对沉降的发展起到抑制的作用，达成路基加固以及保持稳定的功效。随着材料科学领域、注浆设备以及施工工艺等方面不断地向前发展，路基沉陷注浆技术在施工操作的

精度、加固所取得的效果以及工程的可控性这些方面均获得了颇为显著的提高。本文尝试着对高速公路路基沉陷的主要形成原因展开系统的剖析，针对注浆加固施工技术的关键要点以及具体的操作流程予以深入的探讨，并且结合实际的工程实践对它的应用特点以及技术优势加以总结归纳，从而为高速公路路基沉陷的治理工作给出科学方面的依据以及技术层面的参考。

1 引起高速公路路基沉陷的主要原因

1.1 施工设计不合理

在高速公路建设进程里，施工设计阶段要是存在不合理的情况，常常会变成致使路基出现沉陷的关键因素之一。设计人员于前期开展勘察工作的时候，倘若没有全面且细致地掌握地质、水文等相关基础资料，那么就有可能使得设计参数和实际状况存在出入，最终引发路基承载力不够的状况。倘若在设计环节当中没有充分对路基填筑厚度、结构层次以及排水系统布局等这些关键要素加以考量，那就容易致使地基应力分布出现不均匀的现象，进而形成局部的沉降情况。部分设计方案在一味追求施工进度或者是在把控成本方面用力过猛的时候，往往会把软弱地基处理以及沉降预测分析给忽视掉，如此一来便使得路基结构在长期运行过程中的稳定性出现了下降的态势。

1.2 公路路基存在裂缝

高速公路工程路基施工阶段会受到较多因素的影响，如外界温度变化幅度较大，运输车辆荷载较重等，都容易导致高速公路路基、路面出现裂缝问题，若没有及时处理，裂缝越来越大，就会造成整体结构不均匀沉陷^[1]。而且，公路路基施工中作业流程不规范，技术应用不标准，也不能保证路基结构质量和使用期间的稳定性，从而增加裂缝问题的发生率，最后导致路基沉陷，影响高速公路工程整体质量。

1.3 回填碾压处理不到位

在高速公路开展施工活动期间，回填碾压处理工作没有落实到位，这已然成为致使路基出现沉陷情况的常见缘由之一。有一部分施工单位在实施填筑相关操作的过程中，并未依照设计方面所提出的要求去严格执行，既没有做到分层开展回填作业，也没有按照分层的方式进行碾压操作，如此一来便致使填土的密实度有所欠缺，进而形成了内部存在空隙的状况，对路基的整体承载方面的性能产生了影响。当车辆荷载或者雨水发生渗入作用的时候，那些原本就处于松散状态的部位特别容易出现压缩变形的情况，进而引发不均匀的沉降现象。除此之外，如果碾压机械的选型不够恰当，又或者是碾压的遍数不够充足，再或者是在碾压速度的控制上不够合理，那么同样会导致局部区域的压实度出现不均等的情况。要是回填材料的含水量偏离了其最佳的范围区间，不论是处于过干的状态还是过湿的情形，都会使得碾压的效果大打折扣，进而形成所谓的隐性软弱层。

2 高速公路路基沉陷注浆技术施工要点

2.1 勘查放样

在高速公路路基出现沉陷需要开展注浆施工之时，勘查放样并非仅仅是一项形式上的定位工作，它实则是关乎注浆方案精度以及治理效果的关键所在。要实现高质量的勘查，就需要将现场地质钻探所获取的数据、标准贯入试验（SPT）的相关数据、静力触探（CPT）所得数据、土样采集之后在室内开展的力学与物理试验数据、对地下水位及其季节性变动的监测数据，还有像浅反射、电阻率这类浅层地球物理方面的多源数据有机地结合起来。借助交叉验证的方式去获取诸如土体分层情况、含水性状况、剪切强度大小、压缩模量数值以及孔隙比等关键参数，并且要针对沉陷体的线形走势、沉降速率以及不均匀沉降带展开细致的测绘工作。在放样阶段，得在统一的坐标系以及高程基准之下，依照勘查所取得的成果来精准确定注浆孔的具体位置、孔之间的间距、布孔的深度以及在纵向方向上的分布情况，同时还要明确允许存在的孔位偏差范围以及值班校核的相关标准，以此来确保注浆能够达到覆盖连续且均匀的效果。在整个放样过程当中，还得去识别并标注出那些异常地段，像是淤泥层、老管线所在区域、暗

洞或者受既有结构影响的区域，另外也要考虑到可能出现的施工限制情况，并且把这些信息都纳入到地形图以及注浆施工图纸当中，以便于在后续施工过程中进行动态的调整。对于勘查所获得的数据，其处理与解释环节务必要运用统计与概率的方法来对参数的变异性加以评估，从而为注浆量的估算以及风险的判断给出量化的依据。

2.2 机械设备

在高速公路路基出现沉陷并开展注浆施工期间，对机械设备予以合理的配置，这无疑是一个极为关键的环节，它对于保障施工能够顺利推进以及加固效果可以稳固且可靠都起着决定性的作用。整个注浆系统一般是由钻孔设备、搅拌设备、储浆罐、高压注浆泵还有监测控制系统等诸多部分组合而成的，而这些设备都得依据地质的具体状况、注浆的深度以及材料的相关性能来展开科学的选型工作。钻孔设备主要负责成孔方面的作业，所以其应当拥有不错的稳定性以及较高的成孔精度，要能够经受住不同土层结构所带来的考验，进而确保实际形成的孔径、孔深都能够和设计要求保持高度的一致。搅拌设备则需要具备较高的转速以及自动计量的功能，唯有如此才能够确保浆液能够实现均匀的混合，而且密度也能够保持稳定状态，如此一来便能够有效防止因为浆液出现离析或者流动性不够充足而致使注浆变得不均匀的情况发生^[2]。高压注浆泵在整个系统当中占据着核心的地位，它的压力与流量调控性能务必要能够契合不同地层所具有的渗透阻力以及设计方面的要求，以此来保证浆液可以在设定好的压力之下均匀地向加固区域进行扩散。

2.3 注浆材料

在高速公路路基出现沉陷情况时，对其展开治理工作，注浆材料的选用情况会直接影响到加固所达成的效果以及工程能够维持的耐久性，这无疑是一个极为关键的核心因素。不同的地质条件以及不一样的沉陷特征，所对应的注浆材料在性能方面的要求存在着较为明显的区别，所以需要全面且细致地去考量诸如流动性、凝固所需的时间、强度的发展状况以及与原本状态下的土壤之间的相容性等诸多方面的情况。常用的注浆材料涵盖了水泥浆、化学浆液、复合型水泥基浆液等多种类型，在这些材料当中，水泥浆因为自身成本相对较低，并且具有较强的适应能力，所以在实际应用中得到了广泛的采用。然而在渗透性表现不佳或者微裂隙发育程度较高的地层环境下，通常就需要掺入像膨润土、粉煤灰或者是硅灰这类外加剂，以此来对流变性能加以改善。而对于细粒土所在的区域或者地下水比较丰富的地区而言，则可以考虑选用如水玻璃、丙烯酰胺、聚氨酯类等化学浆液，通过这种方式能够有效增强渗透性以及防水性能。复合型浆液凭借有机成分和无机成分相互之间所产生的协同作用，不仅拥有较高的强度，而且凝固时间是能够实现可控的，并且还具备良好的黏结性，

所以它特别适合用来处理那种呈现出不均匀沉陷特点以及处于复杂地层的情况。

2.4 注浆孔成孔

在高速公路路基出现沉陷情况并开展注浆施工之时，注浆孔的成孔工艺属于极为关键的一个环节，它能够确保浆液可以精准地进入到预定的目标加固区域，进而达成加固效果分布均匀的目的。在正式进行成孔施工之前，得依据勘察所获取的资料以及设计方面的要求来确定孔位、孔径、孔深还有孔距等各项参数，通过合理地布置孔位，以此来保障加固范围能够实现全面且无遗漏的覆盖。成孔的具体操作过程里，要结合地层的实际结构状况去挑选适宜的钻进设备以及相应的工艺方法^[3]。比如说，在砂砾层这样的地质条件下，比较适宜采用回转钻或者潜孔锤钻进的方式；而在黏性土或者是软弱地层这类地质环境下，则可以考虑采用螺旋钻或者是静压钻进的方法，如此一来便能够有效避免出现孔壁发生塌陷或者产生偏移等不良状况。在整个施工进程当中，务必严格把控钻进的速度以及孔的垂直度，从而维持孔壁处于稳定的状态，防止对周围的土体造成不必要的扰动。完成成孔操作之后，应当及时对孔进行清理，把孔底的沉渣以及松散物都彻底清除掉，唯有如此才能确保在注入浆液的时候，通道是畅通无阻的，并且阻力也是均匀分布的。

2.5 注浆压力确定

在注浆施工环节当中，注浆压力的确定无疑是一项极为关键的技术参数，其重要性在于能够确保浆液可以有效地向目标加固体进行扩散，与此同时还能避免引发那些不利于地质状况的反应。确定这一参数的时候，需要综合考量诸多因素，像地质方面的具体条件、孔的深度以及孔径的大小、注浆材料所具有的粘度以及凝结特性等，另外还有既有土体所具备的承载能力以及抗裂能力，都要纳入到综合评估的范畴之中。一般而言，会借助室内渗透试验以及现场小试这两种方式来获取浆液在特定土层里的渗透性系数以及压渗关系，然后把沉陷带的层位分布情况也结合起来，以此来确定不同深度或者分层注浆所对应的设计压力区间。在实际开展施工工作的过程中，大多采用分阶段递增压力的控制策略，也就是先从比较低的压力开始启动，接着持续监测浆液的吸入量以及回流的具体情况，之后依据监测所得到的反馈信息一步步地提升压力，直至达到既能达成有效充填的目的又不至于出现沿层劈裂这种临界状态的数值。注浆压力和注浆量、注速之间存在着十分明显的耦合特性，所以有必要实时去记录压力、流量以及容量这三者之间的关联曲线，通过这种方式来对浆液的扩散模式加以判断，同时也能够识别出可能出现的异常状况，像是突增回流或者突然出现的压降等情况。并且还要设置一个安全的上限，以此来防止出现局部水力劈裂的现象，或者给既有构筑物带来损伤的情况发生。

2.6 埋管注浆

在高速公路路基出现沉陷状况开展注浆施工期间，埋管注浆算得上是极为重要的一种施工手段，其可切实保障浆液依照设计所规划的路线达成均匀分布的效果，进而实现对路基加固连续性的有力维护。在着手埋管施工之前，务必要依据实地勘查以及相关设计资料来确定管道的具体布置方案，这其中涉及到管道的长度、埋设时的深度、彼此之间的间距以及倾斜的角度等诸多方面，唯有如此才能更好地契合不同沉陷区域实际存在的地质条件以及相应的加固需求^[4]。就埋管所使用的材料而言，一般会倾向于选择那种耐腐蚀性能良好、强度颇高并且内径较为均匀的钢管，又或者选用高强度的塑料管，如此便能够确保浆液在受到高压作用的情形下可以顺畅地完成输送过程，同时也能有效降低出现堵塞的风险。在整个施工进程当中，对于管道安装时的垂直度以及水平位置必须要予以严格的把控，务必要做到管口精准地对准注浆孔或者是加固层的中心部位，并且还要针对管道的各个接口做好密封方面的处理工作，以此来避免浆液出现外溢的情况。

2.7 封孔作业

在高速公路路基沉陷完成注浆施工之后，封孔作业属于极为关键的一个环节，它对于确保注浆所取得的效果能够保持稳定以及保障路基在后续长时间里能够处于安全状态都起着十分重要的作用。在正式开展封孔作业之前，需要仔细对注浆孔展开检查工作，要确认浆液已经切实实现了充分的填充，而且压力也已经得到了有效的释放，另外还要确认孔内不存在任何剩余的流体或者出现空隙的情况，如此才能够有效防止孔内留存的浆液发生流失现象，或者进而形成二次沉降情况。封孔时所选用的材料往往会选择水泥砂浆、膨润土浆或者是与注浆材料能够相互兼容的复合浆液，其目的就在于要保证这些封孔材料能够和周围的土体以及已经固化的浆体之间具备良好的黏结特性以及密封性能。在整个施工操作过程当中，应当按照层次依次回填封孔材料，并且采取诸如振动、压实等一系列相关措施来促使封孔材料的密实程度得以提升，与此同时还要确保孔口的位置能够和路面的标高保持平齐的状态，只有这样才能够避免出现局部沉降或者积水点等情况。

3 结语

高速公路路基沉陷注浆技术属于一种行之有效的加固办法，其在路基沉降处理方面起到了颇为重要的作用。借助科学且严谨的勘查放样工作、合理安排的机械设备配置情况、精心挑选的注浆材料以及严格把控的施工工艺流程，该注浆技术可切实填充路基所存在的空隙，进而强化土体的密实程度以及承载能力，由此便能大幅改善路基的稳定性状况，对沉陷问题起到延缓乃至消除的作用。实际应用情况说明，采用注浆加固的方式，不但让高速公路路

基的使用寿命得以延长，还提升了行车的安全性，并且给处于类似地质条件下的路基加固工作带来了可供参考的技术经验。

[参考文献]

- [1]赵广进.注浆技术在高速公路路基沉陷施工中的应用[J].交通世界,2024(21):45-47.
- [2]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(2):101-102.

[3]洪燕.路基沉陷注浆施工技术在高速公路中的应用[J].交通世界,2024(17):62-64.

[4]刘鹏远.高速公路路基沉陷注浆施工技术[J].交通世界,2022(26):31-33.

作者简介：丁伟（1985.12—），男，毕业院校：江苏理工学院，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位：江苏现代路桥有限责任公司，职务：拌合站站长，职称级别：工程师。