

注浆施工技术在公路桥涵路基加固和防渗工程中的应用

陈泓宇

江苏新沂经济开发区管理委员会，江苏徐州，221499；

摘要：为了提高公路桥涵路基的稳定性和防渗性能，本文研究了注浆施工技术在公路桥涵工程中的应用。通过分析注浆法的作用机理、注浆材料与类型，以及注浆技术在软基加固、岩溶处理和桥台防渗中的具体应用，探讨了施工过程中常见问题的应对措施。针对施工中的特殊情况，提出了冒浆和串浆的预防方案，并总结了注浆效果的检测方法和施工安全保障措施，以期为相关工程提供参考和借鉴。

关键词：注浆施工技术；公路桥涵；路基加固；防渗工程

DOI：10.69979/3060-8767.25.01.027

公路桥涵路基的稳定性和防渗性能直接影响到道路交通的安全和使用寿命。在实际施工中，由于地质条件复杂，路基常面临软弱地基、岩溶地质以及桥台渗漏等问题，这些因素不仅威胁到结构的稳定性，还可能导致严重的安全隐患。注浆施工技术作为一种有效的加固和防渗手段，能够通过注入特定的浆液，填充和加固岩土体的空隙与裂隙，从而增强地基承载能力，防止水分渗透，因此在公路桥涵工程中得到了广泛应用。

1 注浆法的作用机理

1.1 注浆法的定义及原理

要深入理解注浆法的作用机理，首先需要明确其定义。注浆法是一种施工技术，通过将可固化的浆液注入岩土体的裂隙或孔洞中，使浆液在其中分散、凝结并硬化，从而填充空隙，阻止岩土体的渗漏，改善岩土体的物理力学性能。

注浆法的基本原理是利用浆液的流动性和可凝固性，借助压力将浆液注入岩土体内部。当浆液在裂隙或孔洞中充填后，经过化学反应或物理变化，浆液会逐渐凝结硬化，形成具有一定强度和稳定性的固结体。这个固结体能够封堵岩土体中的渗漏通道，提高岩土体的整体稳定性和承载能力。

在公路桥涵工程中，注浆法被广泛应用。其主要原因在于，注浆法能够有效地维持建筑物的稳定形状，填充和封堵建筑物中的裂缝和孔隙，起到防渗漏的作用。此外，对于含有大量沙石的地质区域，注浆法还能增强地基的稳定性，防止地基下沉或塌陷。

1.2 注浆材料与类型

根据材料的性质，注浆材料主要分为颗粒浆材和化学浆材两大类。

颗粒浆材主要以水泥浆为代表，具有易于获取、成本低廉、凝结时间可控等特点。水泥浆液注入岩土体后，能够通过水化反应形成坚固的固结体，增强岩土体的强度和稳定性。化学浆材则包括硅酸盐（如水玻璃）和聚合物浆材等。这类浆材具有黏度低、渗透性强的特点，能够更深入地渗透到细小的裂隙和孔隙中。化学浆材在凝结后，通常具有较高的弹性和抗渗性能，适用于需要细微加固和防渗的工程部位。

根据注浆方式的不同，注浆可分为填充注浆、渗透注浆、压密注浆和劈裂注浆等类型。

填充注浆主要用于填充较大的空洞和裂隙，通过注入浆液直接填满空间，增强结构的整体性。渗透注浆适用于细微的孔隙和裂隙，利用浆液的渗透性，使其在岩土体中扩散，起到加固和防渗的作用。压密注浆是通过高压将浆液注入松散的土层中，压实土体，提高其密实度和承载力。劈裂注浆则是在高压下，使浆液在土体中形成新的裂隙，扩大加固范围，改善岩土体的结构。

在实际工程中，施工人员会根据地质条件和工程要求，选择合适的注浆材料和注浆类型，以达到最佳的加固和防渗效果。

2 注浆技术在公路桥涵工程中的应用

2.1 软基加固注浆技术

在公路桥涵工程中，路基的稳固性直接关系到整体

结构的安全性。面对软弱地基，施工人员需要采用有效的注浆技术来增强地基的承载能力和稳定性。软基通常是指承载力低、压缩性高的土层，如淤泥、软黏土等。针对这种情况，常用的加固方法包括旋喷桩技术和 CFG 桩技术等。

旋喷桩技术利用高压射流将浆液注入地基土中，形成柱状的加固体，改善地基的物理力学性能。CFG 桩技术则通过在地基中设置水泥粉煤灰碎石桩，增强土体的强度和稳定性。在注浆施工过程中，若遇到淤泥层和流沙层等特殊地质条件，必须严格按照施工工艺要求进行操作。

为确保注浆效果，施工前需要对设备和材料进行全面检查。首先，应对导管进行测试，确保其接头具有足够的抗拉强度和水密性，满足施工要求。其次，在注浆过程中，当导管口接近钢筋笼底部上方 2 至 3 米时，应逐渐减慢注浆速度，防止浆液过快引起紊流。当浆液液面与钢筋笼的距离小于 1 米，且导管口与钢筋笼的间距大于 3 米时，可以适当加快注浆速度，直到恢复到之前的速度，然后保持稳定。

施工过程中，需安排专人实时监测注浆进度，及时检查浆液的配合比、搅拌质量以及注浆效果。此外，为了检验注浆加固的质量，还应进行动力试验和静载试验，评估地基的承载能力和稳定性。通过这些措施，可以有效提升软基的稳定性，达到路基加固和防渗的目的。

2.2 岩溶处理注浆技术

岩溶地质是一种复杂的地质条件，存在溶洞、裂隙等特殊结构，对公路桥涵路基施工带来诸多挑战。为确保路基的稳定性，施工人员需要对岩溶地基进行有效的处理，注浆技术在这方面具有独特的优势。

在施工前，必须对施工现场的地质和环境进行全面的勘察和评估。通过详细的地质调查，了解岩溶的分布规律、规模和特性，为制定合理的施工方案提供依据。在钻孔作业时，可以采用灌注和勘探相结合的方法，确定钻孔的深度和直径，以适应岩溶地质的复杂性。

注浆施工过程中，浆液的离析和管道堵塞是需要重点关注的问题。浆液离析会导致固体颗粒沉淀，堵塞管道，影响注浆效果。为防止这种情况，施工人员应持续搅拌浆液，保持其均匀性。此外，选择适当的浆液配比

和黏度，确保浆液在注入地基后能够充分渗透和凝固。

针对岩溶地基，注浆时应严格控制注浆压力和速度。当浆液达到设计要求的黏稠度，且注浆压力与设计标准相符时，方可进行灌注。为避免发生断桩问题，施工人员需要密切监测注浆过程中的各项参数。一旦发现断桩的迹象，可以通过稀释浆液或增加侧锤的重量等措施进行调整，防止塌孔等情况的发生。

在注浆施工前，还可以对浆液进行特殊处理，使其更好地与岩溶地基融合。当浆液与地基的接触角大于 90 度时，湿润性较好，浆液易于渗透；反之，当接触角小于 90 度时，湿润性较差，浆液难以渗入，此时需要借助外力促进浆液的渗透和扩散。

注浆施工完成后，不能忽视对施工质量检查和验收。施工人员应对注浆区域进行详细的检查，确保浆液的实际厚度符合设计要求，一般应大于设计厚度的 0.5 至 1 米。这样可以有效减少雨季对路基的冲刷，防止因积水导致的路基损坏。同时，还需检查建筑物表面有无裂缝和空隙，如有发现，应及时修补，确保工程的整体质量和耐久性。

2.3 桥台防渗注浆技术

桥台是公路桥涵的重要结构，其防渗性能对工程整体质量有着直接影响。注浆技术在桥台防渗中发挥了关键作用。通过在桥台背后实施注浆，不仅增强了路基和桥台的承载能力，而且减少了台背沉降的差异。

施工过程中，工程人员应根据具体需求和条件，从旋喷桩技术、粉喷桩技术和砂桩技术中选择适宜的方法。选择合适的注浆技术，有助于有效防止渗漏问题，提高工程的耐久性和安全性。

在我国公路基础工程中，基坑质量不合格是导致桥台渗漏和坍塌的主要原因之一。施工人员需要及时对基坑进行修复，仔细检查基坑出现的位置和数量，找出产生基坑的具体原因，以便采取更有效的处理措施，防止类似问题再次发生。

在注浆施工前，必须对洞室的整体情况进行检测和调查。应确认洞室内无人，并确保洞室墙体的安全性。随后，封闭洞室的出口，准备进行注浆作业。

在洞室顶部钻注浆孔，孔间距通常为 5 至 6 米。采用适当的浆液，在钻孔的同时进行注浆。如果发现注

浆液出现收缩,施工人员应根据实际情况进行二次注浆。为了确保工程质量达到标准,实现防渗功能,有时甚至需要进行三次或四次注浆。只有当建筑物表面出现溢浆时,才能停止注浆工作。

3 施工中特殊情况的处理

3.1 冒浆原因及应对措施

在注浆施工过程中,有时会出现浆液从地表冒出的现象,即冒浆。冒浆的主要原因是注浆压力过大、浆液流动性强或地层存在裂隙。过高的注浆压力会使浆液迅速穿过土层薄弱处,导致浆液在地面渗出。浆液黏度过低,流动性增强,也增加了冒浆的风险。此外,地质条件复杂,土层中存在贯通的裂隙和空洞,亦可能引发冒浆。

冒浆现象不仅妨碍钻孔和注浆的正常施工,还会影响加固和防渗效果,甚至造成材料浪费和经济损失。为有效解决冒浆问题,施工人员应采取以下措施。首先,适当降低注浆压力,使浆液以较缓和的压力注入土层,减少对地层的冲击。其次,调整浆液的浓度,在浆液中加入适量的硅酸盐(水玻璃),提高浆液的黏度,减缓其流动速度。此外,严格控制注浆量,将单位时间内的注浆量限制在 30 至 40 升之间,防止过量注浆引起冒浆。

在注浆过程中,应采用间歇式注浆的方法。当发现冒浆迹象时,立即停止注浆,等待浆液在土层中充分渗透和凝固后,再继续注浆。通过间歇操作,可以让浆液有足够时间填充空隙,减少浆液外溢的可能性。

3.2 串浆预防与解决方案

在注浆作业中,串浆是指浆液从其他钻孔中流出的现象,导致浆液未能在目标位置发挥作用。串浆通常由以下原因引起:钻孔间距过近,导致浆液通过地层裂隙互相连通;注浆顺序不当,使得浆液沿着未凝固的通道流动;地质条件复杂,存在贯通的空洞和裂隙。

串浆的发生不仅影响注浆效果,还会造成材料浪费和施工延误。为预防串浆,施工人员应采取以下措施。首先,增大首批注浆孔之间的距离,延长或阻断浆液在地层中的连通通道,减少串浆的风险。其次,合理安排注浆顺序,对相邻钻孔的施工时间进行适当间隔。待前一个孔的浆液凝固后,再进行相邻孔的注浆,防止浆液

通过未凝固的地层通道串流。

如果串浆已经发生,需根据具体情况采取措施。若浆液从待注浆的孔中流出,可以采用并联注浆的方法,同时对发生串浆的孔和目标孔进行注浆,使浆液压力均衡,防止浆液外流。若浆液从正在钻进的孔中流出,应立即停止钻进,封闭该孔的孔口,待其他孔注浆完成并浆液凝固后,再继续钻进。

4 注浆施工效果的检测方法

4.1 钻孔取样法

在注浆施工完成后,为了确保工程质量达到预期标准,需要对注浆效果进行检测。钻孔取样法是一种直接且有效的检测手段。具体操作是通过在注浆区域内钻取土样或岩芯,对其进行物理和力学性能的测试。通过取样,可以评估浆液在土体中的充填率、密实度以及与原土层的结合情况。

取样时,应选择具有代表性的检测点,确保所取样品能够反映注浆区域的整体状况。对采集的样品,需要进行密度、强度和抗剪切力等指标的测试。通过这些参数,可以判断浆液的凝固效果和加固性能。

虽然钻孔取样法无法完全覆盖整个注浆区域,但其具有操作简便、结果直观的优点。若在检测中发现注浆质量不达标的情况,施工人员应立即采取补救措施,例如重新注浆或加固处理,以消除潜在的安全隐患,确保工程的可靠性和稳定性。

4.2 动力与静载试验

为了全面评估注浆加固后的地基承载能力和稳定性,动力试验和静载试验是必不可少的检测方法。动力试验主要通过施加动态荷载,测量地基的动力响应特性,评估其刚度和阻尼性能。静载试验则是在地基上施加静态荷载,观察其变形和沉降情况,以确定地基的承载力和变形特性。

在进行静载试验时,需要按照规范要求选取一定数量的检测桩。通常,静载检测的桩数不少于总桩数的 1%,且不少于两根。动力试验的检测桩数一般占总桩数的 8% 至 15%。通过这些试验,可以获得地基的实际承载力和沉降量等关键参数。

试验结果应与设计要求进行比较,若发现不符合规

范的情况,需及时进行处理。例如,采取进一步的加固措施或调整设计方案。通过动力与静载试验,可以有效验证注浆施工的效果,确保地基满足工程的安全和使用要求。

5 注浆施工的安全保障措施

5.1 设备维护与管理

注浆施工过程中,设备的可靠性对工程安全和施工效率有直接影响。为了防止机械故障导致安全事故,施工单位应指定专人负责设备的日常维护和保养,及时检修并更换磨损部件,保证机械设备始终处于良好的工作状态。对注浆机、管道和阀门等关键部件,应定期进行全面检查,消除潜在的隐患。为了避免注浆过程中因压力过大引起管路爆裂,必须选用能够承受高压的管道装置,并确认其安装和连接符合规范要求。在注浆作业完成后,设备需要进行彻底的清洁和维护,为下一次施工做好准备。

5.2 施工人员安全防护

施工人员的安全防护是注浆施工中最重要的一环。所有参与施工的人员必须严格遵守安全管理规定,佩戴安全帽、防护眼镜和防护手套等个人防护装备。为了防止工作人员在施工过程中相互干扰,现场应由专人负责指挥和协调,保障各项作业有序进行。施工前,必须对所有人员进行安全培训,使其熟悉施工流程和安全操作

规程。特别是在高压注浆作业中,施工人员应保持安全距离,避免因压力突变造成意外伤害。施工现场应设置明显的安全警示标志,禁止无关人员进入施工区域,维持施工环境的安全可控。

6 结语

注浆施工技术在公路桥涵工程中展现出了良好的适应性和有效性。通过合理选择注浆材料和施工方法,能够显著提升软弱地基的承载能力,改善岩溶地基的稳定性,并有效解决桥台渗漏问题。然而,注浆施工的效果受地质条件和施工工艺的影响较大,因此在实际应用中,必须结合现场勘查结果,精细制定施工方案。针对施工过程中出现的冒浆和串浆等问题,需要采取科学合理的应对措施,以确保工程质量和经济效益。

参考文献

- [1] 杨永涛. 公路路基沉陷注浆施工技术的应用[J]. 建材发展导向, 2023, 21 (04): 145-147.
- [2] 刘海峰. 浅析公路桥梁隧道施工中注浆技术的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2022, 45 (12): 143-145.
- [3] 胡明. 浅析公路桥梁隧道施工中注浆技术的应用[J]. 科学技术创新, 2023, (14): 129-132.
- [4] 赵宇. 高速公路路基沉陷原因及注浆施工技术的应用[J]. 江西建材, 2023, (05): 255-257.