

市政公路隧道浅埋暗挖施工中软土预加固注浆工艺研究

王 博

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

摘 要: 本文聚焦市政公路隧道浅埋暗挖施工中的软土预加固注浆工艺。先分析软土地层特性,包括定义分类、隧道施工中特点及勘察方法要求;接着阐述注浆工艺理论基础,涵盖技术原理、材料性能、压力与扩散半径理论;随后进行工艺方案设计与优化,涉及工艺选择、参数设计、设备选型与配套及施工流程;最后探讨施工工艺优化与质量控制,包括设备选型、工序优化和质量检测评价,为实际工程提供参考。

关键词: 市政公路隧道;浅埋暗挖;软土预加固;注浆工艺

1 市政公路隧道浅埋暗挖软土地层特性分析

1.1 软土地层的定义与分类

软土地层通常指天然孔隙比大于或等于1.0,且天然含水量大于液限的细粒土,包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。依据其成因、物理力学性质等指标,软土地层有多种分类方式。按成因可分为海相沉积、湖相沉积、河相沉积等软土,不同成因的软土在颗粒组成、结构特征上存在差异。例如,海相沉积软土含水量高、孔隙比大、压缩性高且强度低;按物质组成可分为有机质软土和无机质软土,有机质软土因含有大量有机物,其工程性质更为复杂,具有较高的灵敏度和触变性。

1.2 市政公路隧道浅埋暗挖软土地层的特点

市政公路隧道浅埋暗挖时,软土地层呈现出独特的特点。其一,强度低,软土的抗剪强度指标(如黏聚力和内摩擦角)较小,难以承受隧道开挖产生的应力,易导致围岩失稳^[1]。其二,压缩性高,在隧道施工荷载作用下,软土会产生较大的沉降变形,可能影响隧道结构安全和周边地面建筑物的稳定性。其三,渗透性低,软土的孔隙细小且连通性差,水的渗透速度缓慢,这在一定程度上影响了注浆等加固措施的效果和施工进度。其四,具有触变性和流变性,软土在受到扰动后,其强度会显著降低,且随时间推移会产生缓慢的变形,给隧道施工和长期稳定带来挑战。

1.3 软土地层工程地质勘察方法与要求

软土地层工程地质勘察需综合运用多种方法。钻探是获取软土原状样和进行原位测试的重要手段,通过钻探可了解软土的分层情况、厚度变化等。原位测试包括静力触探、标准贯入试验等,能直接测定软土的力学参数。室内试验则对钻探取得的土样进行物理力学性质分析,如测定含水量、密度、抗剪强度等指标。在勘察要求方面,应保证勘察点的布置具有代表性,能准确反映

隧道沿线软土地层的分布和变化情况。同时,要详细记录勘察过程中的各种数据和信息,为后续隧道设计和施工提供可靠依据。

2 市政公路隧道浅埋暗挖施工中软土预加固注浆工艺理论基础

2.1 注浆技术原理

注浆技术是利用压力将能固化的浆液注入软土地层的孔隙或裂缝中,通过浆液的填充、渗透、挤密和劈裂等作用,改善软土地层的物理力学性质。填充作用是指浆液填充软土中的孔隙,减少土体的孔隙率;渗透作用是浆液在压力作用下渗入土颗粒之间,增强土颗粒间的连接;挤密作用是浆液注入后对周围软土产生挤压,使土体更加密实;劈裂作用是在较高压力下,浆液使软土产生劈裂裂缝,浆液沿裂缝扩散,形成加固脉体,提高软土地层的整体强度和稳定性。

2.2 常用注浆材料及其性能

常用的注浆材料有水泥类、化学类等。水泥类注浆材料以水泥为主要成分,具有结石强度高、耐久性好、材料来源广泛等优点,但存在凝结时间较长、可注性较差等缺点。化学类注浆材料如水玻璃类、聚氨酯类等,具有凝结时间可调、可注性好、能快速凝固等特点,适用于处理细小裂缝和渗透性较低的软土地层,但成本较高,且部分化学材料可能对环境造成一定影响。在实际工程中,需根据软土地层的性质、工程要求和经济因素等综合选择合适的注浆材料^[2]。

2.3 注浆压力与扩散半径理论

注浆压力作为影响注浆效果的核心要素之一,其精准把控至关重要。当注浆压力过小时,浆液缺乏足够的动力,难以有效扩散至预定的加固范围,无法形成连续、稳定的加固区域,导致注浆加固效果大打折扣。而注浆压力过大,又会对软土地层结构造成严重破坏,使

地层出现过度扰动,甚至引发地面隆起、建筑物开裂等一系列工程问题,给工程安全带来极大隐患。注浆压力的合理确定并非易事,需要综合考量多方面因素,如软土地层的强度、初始应力状态、浆液性能等。同时,扩散半径理论为计算浆液在软土地层中的扩散范围提供了科学依据,它与注浆压力、浆液黏度、软土的渗透系数等参数紧密相关。在实际工程中,通常采用理论计算和现场试验相结合的方式,先通过理论模型初步估算注浆压力和扩散半径,再结合现场试验进行验证和调整,从而确定最为合理的注浆参数,确保注浆加固效果达到预期目标。

3 市政公路隧道浅埋暗挖软土预加固注浆工艺方案设计与优化

3.1 注浆工艺选择原则

注浆工艺的选择是市政公路隧道浅埋暗挖软土预加固施工中的关键环节,应遵循适应性、经济性和可靠性三大原则。适应性原则至关重要,它要求所选注浆工艺必须与软土地层的特性紧密契合。不同成因和性质的软土,如海相沉积软土与河相沉积软土,其孔隙率、渗透性等差异显著,所选工艺需能有效解决对应软土层存在的问题,如高压缩性、低强度等。同时要充分考虑隧道施工条件,像施工空间大小、周边环境等,以及工程要求,如加固深度、强度提升幅度等。经济性原则强调在满足工程要求的基础上,尽可能降低注浆成本。这涵盖了材料成本,要挑选性价比高的注浆材料;设备成本,合理选型避免设备闲置浪费;施工成本,优化施工流程减少人工和时间消耗。可靠性原则是保障隧道施工安全的关键,注浆工艺需具备较高的成功率和稳定性,确保注浆加固效果达到设计要求,能有效提高软土地层的强度和稳定性,防止隧道开挖过程中出现围岩失稳、地面沉降等安全问题,为隧道施工提供可靠的地质保障。

3.2 注浆参数设计

注浆参数设计是确保注浆加固效果的核心工作,主要包括注浆孔布置、注浆量、注浆压力等方面。注浆孔布置需综合考虑多方面因素,依据软土地层的分布情况,确定合理的孔位间距和排列方式,一般采用梅花形或矩形布置,以保证浆液能均匀扩散到整个加固区域。同时要结合隧道断面形状和加固范围,使注浆孔的布置与隧道结构相匹配^[3]。注浆量的计算是一个复杂且关键的过程,要充分考虑软土地层的孔隙率,这是浆液填充的基础空间,还需确定浆液填充系数,该系数与浆液性能、注浆工艺等因素相关,通过精确计算确保浆液能充分填充软土孔隙,达到良好的加固效果。注浆压力的设

计要结合软土地层的强度和初始应力状态,压力过小浆液无法有效扩散,压力过大则可能破坏软土结构。因此,需通过现场试验,根据实际情况对注浆压力进行调整优化,确保注浆过程既安全又有效。

3.3 注浆设备选型与配套

注浆设备的选型与配套直接关系到注浆施工的效率和质量,是施工顺利进行的重要保障。注浆泵作为核心设备,其选型至关重要,应根据注浆压力和注浆量的具体要求,挑选合适型号的注浆泵,确保它能提供稳定且持续的压力和流量,满足不同施工阶段的需求。搅拌机用于制备浆液,其性能直接影响浆液的质量,要保证搅拌机能够使浆液搅拌均匀,避免出现浆液离析等现象,影响注浆效果。此外,还需配备输浆管、注浆管等辅助设备,这些设备的材质和规格要严格满足注浆要求。输浆管要具备良好的密封性和耐压性,保证浆液在输送过程中不泄漏、不堵塞;注浆管的材质要能承受一定的压力,且长度和直径要根据实际施工情况进行合理选择,确保浆液能够顺利输送到注浆孔并注入软土地层。同时设备的配套要合理,各设备之间要能够协同工作,提高施工效率。

3.4 注浆施工工艺流程

注浆施工工艺流程是一个严谨且有序的过程,一般包括钻孔、清孔、安装注浆管、注浆、封孔等步骤。钻孔是整个注浆施工的基础,钻孔时要严格按照设计要求保证孔径、孔深和垂直度,孔径过小会影响注浆管的安装和浆液的注入,孔深不足则无法达到加固深度,垂直度偏差过大可能导致浆液扩散不均匀。同时要注意避免损坏周边土体,防止引发不必要的地质问题。清孔是为了清除孔内的杂物和积水,这些杂质会阻碍浆液与软土的充分接触,影响注浆效果,因此要确保孔内清洁干净。安装注浆管时要注意密封性,采用合适的密封材料和密封方式,防止浆液在注入过程中泄漏,造成浪费和环境污染。注浆过程中要严格控制注浆压力和注浆量,根据现场实际情况及时调整注浆参数,确保浆液能够均匀扩散并充分填充软土孔隙。注浆完成后要及时封孔,防止浆液回流,保证注浆加固效果的长久稳定,为市政公路隧道浅埋暗挖施工提供可靠的地质支撑。

4 施工工艺优化与质量控制

4.1 钻进与注浆设备选型

在施工工艺优化进程中,钻进与注浆设备的选型是决定施工成效的关键因素。对于钻进设备的选择,必须紧密结合软土地层的特性。软土地层通常具有含水量高、强度低、压缩性大等特点,在这样的地层中,回转

式钻机是较为合适的选择。它凭借高效的钻进能力和良好的成孔质量脱颖而出,其旋转钻头能较为轻松地切入软土,同时,合理的钻进参数设置可确保钻孔的垂直度和孔径符合要求。钻机的功率和转速等参数也需谨慎考量,功率不足可能导致钻进困难,转速不当则会影响成孔质量,只有匹配好这些参数,才能满足钻孔作业的需求。注浆设备的选型同样不容小觑,要综合多方面因素。注浆材料的性能差异会影响设备的选择,比如水泥浆和化学浆液对注浆泵的要求就有所不同。注浆压力和注浆量也是关键考量点,需挑选性能稳定、可靠性高的注浆泵,以确保在施工过程中能持续、稳定地提供所需压力和流量。而且,设备的维护和保养是保障其长期稳定运行的重要环节。定期对设备进行全面检查,及时发现并解决潜在问题;按时进行维修和保养,更换磨损部件,可有效提高设备的使用寿命,减少施工中的设备故障,进而提升施工效率。

4.2 关键施工工序优化

关键施工工序的优化对于提升注浆施工质量具有举足轻重的作用。在钻孔工序中,跟管钻进技术是一种行之有效的优化手段。软土地层稳定性差,钻孔时极易出现孔壁坍塌的问题,而跟管钻进技术通过在钻杆外设置套管,随着钻进的进行同步下放套管,能够有效保护孔壁,防止坍塌,保证成孔质量,为后续注浆作业提供良好的基础。注浆工序的优化则体现在采用分段注浆方法。由于软土地层往往存在分层现象,不同层位的土质和力学性质差异较大。将注浆段合理划分为若干小段,逐段进行注浆,能使浆液更充分地渗透和扩散到各个层位,提高浆液与软土的混合均匀性,增强加固效果。加强对注浆过程的实时监控至关重要。通过安装压力传感器、流量计等监测设备,实时掌握注浆压力和注浆量的变化情况,根据现场反馈及时调整注浆参数,确保注浆过程始终处于可控状态,从而保障注浆质量达到设计要求。

4.3 质量检测与评价方法

质量检测与评价是确保注浆施工质量达标的重要保

障措施。常用的检测方法多种多样,各有其独特的优势。钻孔取芯法是一种直观且可靠的检测手段,通过在注浆区域钻孔并取出芯样,能够直接观察浆液在软土地层中的分布状况,以及结石体的形态、密实度等质量指标,为评估注浆效果提供第一手资料。标准贯入试验和静力触探试验则侧重于测定注浆后软土地层的力学参数^[4]。标准贯入试验通过记录标准贯入器在土层中的锤击数,反映土层的密实度和强度变化;静力触探试验利用静力将探头压入土层,测量锥尖阻力和侧壁摩擦力等参数,进而评价土层的工程性质。这些参数的变化能够直观地体现注浆加固效果。物探方法如电阻率法、声波法等也为注浆质量检测提供了新的途径。这些方法具有非破坏性、效率高等特点,能够对注浆加固范围和均匀性进行大面积检测。根据多种检测方法得到的结果,综合评价注浆施工质量。若检测结果不满足设计要求,必须及时分析原因,并采取针对性的补救措施,如二次注浆等,以确保工程质量符合标准。

结束语

市政公路隧道浅埋暗挖施工中,软土预加固注浆工艺至关重要。通过对软土地层特性深入分析,构建坚实的理论基础,精心设计并优化工艺方案,从设备选型到施工流程都严格把控,同时注重施工工艺优化与质量控制。多方面的努力旨在提升注浆加固效果,保障隧道施工安全与质量。未来,随着技术不断发展,该工艺将进一步完善,为市政公路隧道建设提供更有力的技术支持。

参考文献

- [1]马炳健.论浅埋暗挖法隧道施工技术及其地面沉降控制的分析[J].砖瓦世界,2021(4):84~85.
- [2]吕知睿.城市地铁隧道区间浅埋暗挖施工地表沉降控制施工技术[J].四川水泥,2020,(9):38,44.
- [3]林金耐.市政隧道工程中的浅埋暗挖施工技术研究[J].中国高新科技,2023(20):46-48.
- [4]赵义好.浅埋暗挖技术在市政工程隧道工程中的应用[J].科技创新与应用,2023,13(17):185-188.