

阀管注浆处治坝顶道路病害时浆液扩散规律分析

张晓明

(山东省海河淮河小清河流域水利管理服务中心 山东 济南 250100)

【摘要】水利工程中的堤坝道路路面及某些防汛道路普遍存在承载能力低和不均匀沉降问题,阀管注浆技术因注浆范围可控、施工简便等优势在地基处治中得到广泛应用。为研究阀管注浆工艺中浆液在不同类型土体中的扩散规律,本文设计了砂土及粉土的阀管注浆室内模型试验,分析了注浆参数变化对加固半径的影响。研究结果为阀管注浆技术在水利工程中的应用提供了数据参考。

【关键词】阀管注浆;水灰比;注浆压力;扩散半径

【中图分类号】U231.3

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2025)-08-0012-03

Analysis of Grout Diffusion Rule in Treating Dam Crest Road Diseases with Valve Pipe Grouting

ZHANG Xiaoming

(Haihe River, Huaihe River and Xiaoqinghe River Basin Water Conservancy Management and Service Center of Shandong Province, Jinan, Shandong 250100, China)

Abstract: In water projects, dam roads and some flood control roads generally have problems of low bearing capacity and uneven settlement. Valve pipe grouting technology is widely used in foundation treatment due to its advantages such as controllable grouting range and simple construction. To study the diffusion rule of grout in different types of soil in the valve pipe grouting process, this paper designs indoor model tests of valve pipe grouting in sand and silt, and analyzes the influence of changes in grouting parameters on the reinforcement radius. The research results provide data reference for the application of valve pipe grouting technology in water projects.

Key words: Valve pipe grouting; Water-cement ratio; Grouting pressure; Diffusion radius

1 试验方案设计

1.1 模型试验方案

为探究阀管注浆工艺在处治坝顶路基病害时浆液在不同类型土体(本文探讨砂土及粉土)中的扩散规律与加固效果,考虑水灰比与注浆压力2种影响因素,设计室内注浆模型试验。试验工况见表1。

1.2 注浆设备

为满足室内模型试验的工况需求,兼顾操作的灵活性、简便性及可控性,精确模拟注浆压力动态施加过程,本研究选用MG-808型手动水泥灌浆机注浆,见图1。

表1 注浆模型试验工况

| 土质 | 编号 | 试验工况 | |
|----|-----|-------|----------|
| | | 水灰比 | 注浆压力/MPa |
| 砂土 | 1-1 | 1:1 | 0.2 |
| | 1-2 | 1:1 | 0.4 |
| | 1-3 | 1:1 | 0.6 |
| | 1-4 | 1.2:1 | 0.2 |
| | 1-5 | 1.2:1 | 0.4 |
| | 1-6 | 1.2:1 | 0.6 |
| 粉土 | 2-1 | 1:1 | 0.2 |
| | 2-2 | 1:1 | 0.4 |
| | 2-3 | 2:1 | 0.2 |
| | 2-4 | 2:1 | 0.4 |

收稿日期:2025-07-29

作者简介:张晓明(1988—),男,工程师

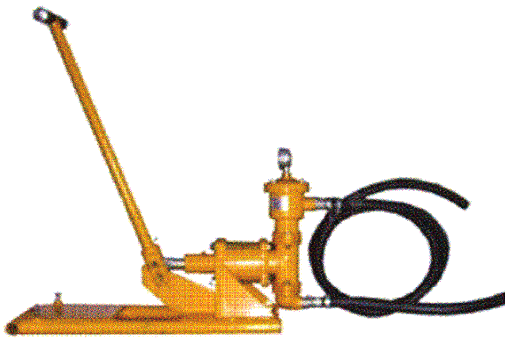


图1 MG-808型手动水泥灌浆机

1.3 试验模型槽设计

为满足阀管注浆试验对深度和水平扩散范围的要求,选取尺寸为 2.0 m×2.4m 的可组合拼装式模型槽,模型槽实体见图 2。



图2 模型槽实体图

1.4 试验流程

1) 注浆管埋设: 注浆管埋设过程中须严格确保其垂直度, 管体埋深需符合设计要求, 为避免填砂进入注浆管下部孔洞造成堵塞需在管底开孔部位包裹隔离材料(如吸水纸), 与外部砂体进行隔离。

2) 土工布敷设: 为均匀传递上部荷载至土层, 并有效过滤水泥浆液防止其沿注浆管外壁溢散。土工布铺设时应保证均匀平整覆盖砂层表面, 且其覆盖范围应大于预定的注浆扩散区域。

3) 压实度控制与测量: 填砂过程采用人工分层压实方式, 每层填砂压实后, 通过标准压实度测试方法进行测量, 确保压实度保持在预定的目标范围。

4) 养护与开挖观测: 注浆完成后需进行充分静置养护, 待浆体具备足够自稳强度后, 方可进行开挖。开挖操作应遵循径向由外及内的原则, 以最大限度保护已固结的浆体结构不被扰动破

坏, 确保观测结果的真实性与完整性。

2 试验结果分析

2.1 砂土注浆结果分析

1) 砂土注浆机理。注浆模型试验表明, 水泥浆液在砂性土体中展现出良好的渗透性能, 分析原因为砂土介质的高渗透系数使其具有良好的透水性, 水泥浆液在砂土中遵循渗透注浆机制, 呈现显著的球形扩散形态。

2) 水灰比对浆液扩散半径的影响。相同注浆压力条件下水灰比增加时浆液扩散半径见图 3, 由图可知, 注浆压力分别为 0.2 MPa、0.4 MPa、0.6 MPa 时, 水灰比增加对应的浆液扩散半径均增加。水灰比为 1.2:1 时对应的浆液扩散半径为水灰比为 1:1 时的 1.24~1.33 倍, 分析原因: 水泥掺量降低, 浆液中水泥稠度减小, 流动性增强, 使得相同注浆压力条件下浆液与砂土颗粒之间的粘滞力减小, 浆液所受切向力减小, 表面摩擦力降低, 注浆阻力减小, 浆液扩散半径增大; 在相同注浆体积条件下, 水灰比越大, 对应浆液质量越小, 在测压管水头相同条件下, 水泥浆具有较大速度, 因此浆液能够渗透到较远距离, 造成浆液扩散半径增大。

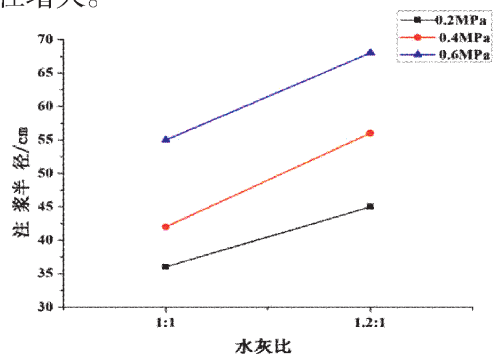


图3 相同注浆压力条件下水灰比对浆液扩散半径的影响

3) 注浆压力对浆液扩散半径的影响。水灰比为相同时, 不同注浆压力对应浆液扩散半径如图 4 所示, 由图可知, 浆液扩散半径受注浆压力影响较大, 在相同水灰比条件下, 注浆压力增加, 浆液扩散半径随之增大。水灰比为 1:1 工况下注浆压力为 0.4 MPa 时浆液扩散半径为 57 cm, 注浆压力为 0.3 MPa 时的浆液扩散半径为 41 cm, 注浆压力为 0.2 MPa 时浆液扩散半径为 36 cm; 水灰比为 1.2:1 工况下注浆压力为 0.4 MPa 时浆液扩散半径为 68 cm, 注浆压力为 0.3 MPa 时浆液扩

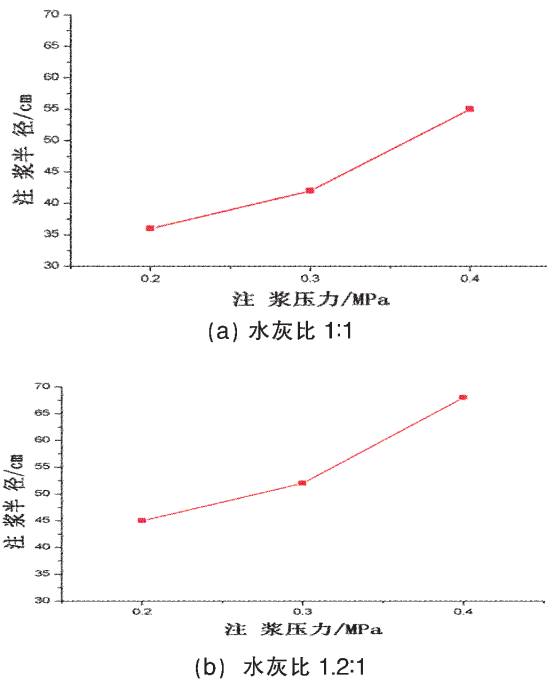


图4 不同的注浆压力条件下浆液扩散半径的变化

散半径为 52 cm, 注浆压力为 0.2 MPa 时浆液扩散半径为 45 cm。分析原因: 注浆压力增大, 浆液获得更大的测压管水头, 随即获得更大的动能, 注浆范围相应增大。

2.2 粉土注浆结果分析

1) 粉土注浆机理分析。在不同试验条件下, 土体注浆过程均呈现土体被浆液挤压密实随之结构面间产生劈裂现象, 从而浆液灌入劈裂面形成固结体。固结体形态呈 3 种, 分别为鸭梨状、层状以及片状。

粉土注浆过程是一个先压密后劈裂的动态过程。浆液在土体中的流动劈裂可分为 3 个典型阶段: ①鼓泡压密阶段: 初始注浆时, 浆液能量有限, 不足以劈裂地层, 其主要作用是通过挤压填充周围土体孔隙, 实现对土体的压密强化, 机制近似于纯压密注浆。②劈裂流动阶段: 当注浆压力增至临界启裂压力时, 土体发生塑性屈服并被浆液压入劈裂, 其方向性受控于地层条件, 若存在软弱破裂面, 浆液将优先沿此面劈裂扩展; 若地层相对均质, 初始劈裂面通常垂直于最小主应力方向。③被动土压力阶段: 随着裂缝扩展达到一定程度, 注浆压力回升, 土体内应力状态随之剧变, 水平向主应力转化为被动土压力状态, 此时需

施加更大注浆压力以促使既有裂缝显著增宽或触发新的水平向裂缝, 并出现第 2 个压力峰值。水泥浆液经由劈裂网络通道贯入土体, 形成清晰可见的网状(或脉状)结石骨架, 结石骨架形成加筋结构体对原生土层起到支撑与增强的作用, 显著提升了整体强度和刚度。注浆对土体性能的改良效果呈现明显的空间非均匀性, 以注浆管为核心, 土体的物理力学性质随着距离增大而呈梯度变化, 形成典型的应力-性能扩散圈。试验结果表明有效改良范围的半径为 1.2~1.5 m。

2) 水灰比对浆液扩散半径的影响。注浆压力为 0.4 MPa 时, 水灰比为 2:1 时的浆液固结体体积约为水灰比 1:1 的浆液固结体体积的 2 倍。分析原因: 水灰比增大浆液流动性增强, 相同的注浆压力条件下浆液与粉土颗粒之间的粘滞力减小, 浆液所受切向力减小, 表面摩擦力降低, 注浆阻力减小, 浆液渗透距离增加, 浆液扩散半径增大。

3) 注浆压力对浆液扩散半径的影响。试验结果表明粉土介质中注浆压力对浆液固结形成的固结体大小影响不大。分析原因: 粉土渗透性低, 在浆液流动过程中可显著抑制其渗透扩散, 注浆压力提升的能量主要用于克服浆液流动的阻力; 水泥浆黏度的时变性使其可流动时间受限, 高压无法延长有效扩散时间。

3 结论

阀管注浆工艺加固效果较好, 在坝顶道路病害处治中具有良好的应用前景。为研究浆液在不同类型土体中的扩散规律, 分析注浆参数变化对加固效果的影响, 本文开展了砂土及粉土的阀管注浆室内模型试验, 得出了相应结论, 可为类似工程的设计和施工提供参考。

参考文献

- [1] 胡晓红, 邓越胜. 堤防道路改造技术研究及应用[J]. 长江科学院院报, 2020, 37(12): 67-71+80.
- [2] 汪益敏, 张丽娟, 等. 离子土固化剂加固堤坝道路路面的路用性能[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2006, (9): 56-61.

(责任编辑 李浩)