

高喷灌浆防渗工艺工法研究

廖国立

中国水利水电第七工程局有限公司成都水电建设工程有限公司, 四川 成都 611130

DOI:10.61369/ETQM.2025080003

摘 要 : 高喷灌浆防渗工艺作为一种重要的地基处理和防渗技术,在水利、建筑等领域有着广泛应用。本文详细阐述了高喷灌浆防渗工艺的原理、工法特点、施工设备与材料、工艺流程、质量控制以及应用实例。通过对该工艺工法的深入研究,为相关工程实践提供全面的技术参考,促进高喷灌浆防渗工艺的进一步推广和应用,提高工程的防渗性能和稳定性。

关键词 : 高喷灌浆; 防渗; 工艺工法; 研究

Study on High Spray Grouting Anti-Seepage Technology and Method

Liao Guoli

China Hydropower Engineering No. 7 Bureau Co., Ltd. Chengdu Hydropower Construction Engineering Co., Ltd.

Chengdu, Sichuan 611130

Abstract : As an important foundation treatment and anti-seepage technology, high spray grouting anti-seepage technology has a wide range of applications in water conservancy, construction and other fields. This paper elaborates in detail on the principle, work method characteristics, construction equipment and materials, process flow, quality control and application examples of high spray grouting anti-seepage technology. Through in-depth study of the work method, it aims to provide comprehensive technical reference for relevant engineering practice, promote the further promotion and application of high spray grouting anti-seepage technology, and improve the anti-seepage performance and stability of the project.

Keywords : high spray grouting; anti-seepage; technology; research

一、适用范围

在水利工程、地下建筑工程以及一些对地基防渗有严格要求的项目中,确保工程的防渗性能至关重要。高喷灌浆防渗工艺以其独特的技术优势,能够有效地形成连续的防渗墙体或加固土体,阻止地下水的渗漏,提高地基的承载能力和稳定性。该工艺具有施工速度快、适应性强、可靠性高等特点,成为解决各类工程防渗问题的常用方法之一^[1]。

二、工作原理

高喷灌浆防渗工艺是利用高压喷射流的强大能量,将浆液与土体充分搅拌混合,在土体中形成具有一定强度和防渗性能的凝结体。具体来说,通过高压泵将水泥浆液或其他化学浆液以高速喷射到地层中,同时通过钻杆的旋转和提升,使喷射流在土体中切割、破碎土体,并与土体颗粒混合、填充,随着浆液的凝固,在土体中形成圆柱状、板状或块状的凝结体,这些凝结体相互连接,从而形成防渗帷幕或加固土体结构^[2]。

根据喷射形式的不同,高喷灌浆可分为单管法、双管法和三管法。单管法仅喷射水泥浆液;双管法同时喷射水泥浆液和压缩空气,空气在浆液外围形成气幕,可减少喷射阻力,使浆液更好地与土体混合;三管法是分别喷射高压水、压缩空气和水泥浆液,先利用高压水射流切割土体,再通过空气和浆液的作用使土

体与浆液充分混合,形成较大直径的凝结体。^[3]

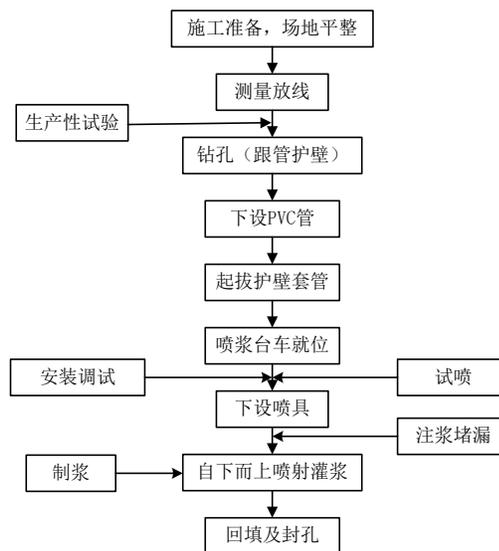


图1 高喷防渗墙施工工艺流程

三、工法特点

(一) 适应性强

高喷灌浆防渗工艺适用于多种地层条件,如砂土、粘性土、粉土等,对于复杂地质的工程也能发挥良好的防渗效果。它可以根据不同的地层特性和工程要求,调整喷射参数和施工工艺,满

足工程的实际需要。

（二）施工简便

该工艺施工设备相对简单，施工过程易于控制。无需大型的挖掘设备或复杂的施工场地，能够在狭窄空间或已有建筑物周边进行施工，对周边环境的影响较小。同时，施工速度快，能够在较短时间内完成防渗工程，减少工期。^[4]

（三）防渗效果好

高喷灌浆形成的凝结体具有较高的密实度和强度，渗透系数低，能够有效地阻止地下水的渗漏，形成可靠的防渗屏障。在水利工程中，高喷灌浆防渗帷幕可以大大降低堤坝、水库等建筑物的渗漏量，提高工程的安全性和稳定性。

（四）成本相对较低

与一些传统的防渗方法相比，高喷灌浆防渗工艺的材料成本和施工成本相对较低。它可以充分利用当地的土料和水泥等材料，减少材料运输和加工成本，同时施工设备的租赁和使用费用也相对较少，具有较好的经济效益。

四、高喷灌浆防渗工艺流程

（一）施工准备

1. 场地平整：清除施工场地内的障碍物，如石块、建筑垃圾等，保持场地平整，确保施工设备能顺利进场和操作。
2. 测量放线：根据设计图纸，使用测量仪器准确放出高喷灌浆孔的位置，并做好标记^[5]。
3. 设备调试：对高喷灌浆设备进行安装和调试，检查设备的性能是否正常，如高压泵的压力、钻机的转速。
4. 材料准备：准备好符合设计要求的水泥、外加剂等材料，并对材料进行检验，确保材料的质量合格。

（二）钻孔

1. 钻机就位：将钻机移动到设计孔位，调整钻机的垂直度，使钻杆垂直于地面。
2. 钻孔：采用合适的钻孔方法，如回转钻进、冲击钻进，按照设计要求的孔深和孔径进行钻孔。在钻孔过程中，要注意控制钻孔的垂直度和孔径偏差，防止出现孔斜和缩径问题。
3. 钻孔记录：详细记录钻孔过程中的地层情况、钻孔深度等信息，为后续的高喷灌浆施工提供参考。

（三）下喷射管

1. 喷射管组装：将喷射管按照设计要求进行组装，检查喷射管的连接是否牢固，喷嘴是否畅通。
2. 下管：将组装好的喷射管下入钻孔中，下管过程中要注意防止喷射管扭曲和堵塞。当喷射管下到设计深度后，要进行检查和调整，确保喷射管的位置正确。

（四）高喷灌浆

1. 浆液制备：根据设计要求，制备符合配合比的水泥浆液。在制备浆液过程中，要严格控制水泥的用量、水灰比和外加剂的掺量，确保浆液的质量稳定。
2. 喷射灌浆：启动高压泵，将水泥浆液以高压喷射的形式从

喷嘴喷出，同时按照设计要求的提升速度和旋转速度或摆动角度进行喷射管的提升和旋转或摆动。在喷射灌浆过程中，要密切观察浆液的喷射情况、冒浆情况和地面的变化情况，及时调整施工参数。

3. 冒浆处理：在高喷灌浆过程中，会有部分浆液从孔口冒出，称为冒浆。对于冒浆量较大的情况，可采取调整浆液配合比、降低喷射压力、减慢提升速度等措施进行处理；对于冒浆量较小的情况，可直接进行回收利用^[6]。

（五）回灌

当喷射管提升到设计高度后，停止喷射，将浆液继续注入孔内，进行回灌，以填补因浆液凝固收缩而产生的空隙，确保凝结体的密实度和防渗性能。

（六）清洗设备

高喷灌浆施工结束后，及时清洗高压泵、喷射管等设备，清除设备内的残留浆液，防止设备堵塞和损坏。

五、高喷灌浆防渗主要设备

（一）钻机

钻机是高喷灌浆施工中用于钻孔的设备，常用的钻机有回转钻机、冲击钻机等。回转钻机适用于各种土层和软岩地层，具有钻孔效率高、孔径精度高的优点；冲击钻机适用于硬岩地层，具有钻孔能力强的优点。在选择钻机时，要根据工程的地质条件和钻孔要求进行合理选择。

（二）高压泵

高压泵是高喷灌浆施工中的关键设备，用于提供高压浆液。常用的高压泵有柱塞泵、活塞泵等。高压泵的压力和流量要根据设计要求和施工条件进行选择，一般要求高压泵的压力能够达到20MPa以上，流量能够满足喷射灌浆的需要。

（三）喷射管

喷射管是将高压浆液喷射到土体中的工具，由内外管组成。内管用于输送高压浆液，外管用于输送压缩空气或水。喷射管的直径和长度要根据工程的要求和施工条件进行选择，一般要求喷射管的直径能够满足浆液的喷射要求，长度能够达到设计孔深。

（四）搅拌机

搅拌机用于制备水泥浆液，常用的搅拌机有强制式搅拌机、自落式搅拌机等。强制式搅拌机具有搅拌效率高、搅拌质量好的优点，适用于制备高浓度的水泥浆液；自落式搅拌机具有结构简单、成本低的优点，适用于制备一般浓度的水泥浆液^[7]。

六、高喷灌浆防渗施工参数选择

（一）喷射压力

喷射压力是高喷灌浆施工中的重要参数之一，会影响喷射流的冲击力和切削力，从而影响凝结体的质量和防渗性能。喷射压力的大小要根据工程的地质条件、喷射方式和设计要求进行选择。一般来说，在砂层、粉土层等软土地层中，喷射压力可选择

20 - 30MPa；在砾石层、卵石层等硬土地层中，喷射压力可选择30 - 40MPa。^[8]

（二）提升速度

提升速度是指喷射管在喷射灌浆过程中的提升速度，直接影响到凝结体的厚度和强度。提升速度的大小要根据工程的地质条件、喷射压力 and 设计要求进行选择。一般来说，在砂层、粉土层等软土地层中，提升速度可选择10 - 20cm/min；在砾石层、卵石层等硬土地层中，提升速度可选择5 - 10cm/min。

（三）旋转速度或摆动角度

对于旋喷，旋转速度是指喷嘴在喷射过程中的旋转速度，一般可选择10 - 20r/min；对于摆喷，摆动角度是指喷嘴在喷射过程中的摆动角度，一般可选择15° - 30°。旋转速度或摆动角度的大小要根据工程的要求和地质条件进行选择，以确保凝结体的形状和质量符合设计要求。

（四）水灰比

水灰比是指水泥浆液中水与水泥的质量比，直接影响到浆液的流动性、凝结时间和强度。水灰比的大小要根据工程的地质条件、喷射方式和设计要求进行选择。一般来说，在砂层、粉土层等软土地层中，水灰比可选择1:1 - 1.5:1；在砾石层、卵石层等硬土地层中，水灰比可选择0.8:1 - 1:1。

七、高喷灌浆防渗工程案例

（一）案例一：某水库大坝防渗处理工程

1.工程概况：某水库大坝为黏土心墙坝，坝基为砂卵石层，存在渗漏问题。为了提高大坝的防渗性能，采用高喷灌浆防渗工艺进行处理。

2.施工方案：根据工程地质条件和设计要求，采用摆喷的喷射方式，喷射压力为30MPa，提升速度为10cm/min，摆动角度为20°，水灰比为1:1。高喷灌浆孔间距为1.5m，孔深为15m。

3.施工过程：在施工过程中，严格按照工艺流程进行操作，对钻孔、下喷射管、高喷灌浆等环节进行了质量控制。同时，对冒浆情况进行了及时处理，确保了施工的顺利进行。

4.效果评估：工程完工后，对高喷灌浆防渗墙进行了质量检测，检测结果表明，防渗墙的墙体质量良好，渗透系数小于设计要求，达到了预期的防渗效果。

（二）案例二：某地铁站基坑防渗处理工程

1.工程概况：某地铁站基坑位于砂层和粉土层中，地下水位较高，为了防止基坑开挖过程中出现渗漏和坍塌问题，采用高喷灌浆防渗工艺进行处理。

2.施工方案：根据工程地质条件和设计要求，采用定喷的喷射方式，喷射压力为25MPa，提升速度为15cm/min，水灰比为1.2:1。高喷灌浆孔间距为1.2m，孔深为10m。

3.施工过程：在施工过程中，遇到了一些问题，如钻孔过程中出现塌孔现象、喷射灌浆过程中出现串浆现象等。针对这些问题，采取了相应的解决措施，如增加泥浆护壁、调整喷射参数等，确保了施工的顺利进行。

4.效果评估：工程完工后，对高喷灌浆防渗墙进行了质量检测和监测，检测结果表明，防渗墙的墙体质量符合设计要求，有效地防止了基坑渗漏和坍塌问题的发生，保障了地铁车站基坑的施工安全。^[9]

八、高喷灌浆防渗工艺质量控制

（一）原材料质量控制

1.水泥：选用符合国家标准的水泥，对水泥的品种、强度等级、凝结时间等进行检验，确保水泥的质量合格。

2.外加剂：根据工程的需要，合理选择外加剂，如减水剂、早强剂等。对外加剂进行性能和质量检验，确保外加剂的掺量符合设计要求。

（二）施工过程质量控制

1.钻孔质量控制：严格控制钻孔的垂直度和孔径偏差，确保钻孔符合设计要求。在钻孔过程中，要及时记录地层情况，为后续的高喷灌浆施工提供参考。

2.喷射灌浆质量控制：严格按照设计要求的施工参数进行喷射灌浆，如喷射压力、提升、旋转速度或摆动角度、水灰比等。在喷射灌浆过程中，要密切观察浆液的喷射情况、冒浆情况和地面变化情况，及时调整施工参数。

3.回灌质量控制：在喷射管提升到设计高度后，要及时进行回灌，确保凝结体的密实度和防渗性能。回灌过程中，要控制回灌的压力和流量，防止出现冒浆和空洞等问题。

（三）质量检测

1.墙体质量检测：采用钻孔取芯、压水试验等方法对高喷灌浆防渗墙的墙体质量进行检测。钻孔取芯可以检测墙体的强度和完整性，压水试验可以检测墙体的渗透系数。

2.外观质量检测：对高喷灌浆防渗墙的外观质量进行检查，如墙体的平整度、垂直度、裂缝等。外观质量应符合设计要求，如有问题应及时处理^[10]。

九、高喷灌浆防渗工艺存在的问题及解决措施

（一）存在的问题

1.施工过程中易出现塌孔、串浆等问题：在高喷灌浆施工过程中，由于地质条件复杂、施工参数选择不当等原因，容易出现塌孔、串浆等问题，影响施工进度和质量。

2.凝结体质量不均匀：由于喷射灌浆过程中浆液的扩散不均匀、土体的性质差异等原因，容易导致凝结体的质量不均匀，影响防渗性能。

3.施工成本较高：高喷灌浆防渗工艺需要使用高压设备和大量的水泥浆液，施工成本较高，限制了其在一些工程中的应用。

（二）解决措施

1.针对塌孔、串浆等问题：在施工前，要对地质条件进行详细的勘察和分析，选择合适的施工方法和施工参数。在施工过程中，要加强对钻孔和喷射灌浆的质量控制，如增加泥浆护壁、调

整喷射压力和提升速度等。

2. 针对凝结体质量不均匀问题：在施工过程中，要严格控制施工参数，确保浆液的均匀扩散。同时，可以采用分层喷射灌浆的方法，提高凝结体的质量均匀性。

3. 针对施工成本较高问题：可以通过优化施工方案、合理选择材料和设备、提高施工效率等方式，降低施工成本。例如，采用新型的水泥浆液配方，减少水泥的用量；采用自动化的施工设备，提高施工效率。

快、适应性强、防渗效果好等优点，广泛应用于水利和基础工程。经对其原理，流程，设备施工参数等研究，结合工程案例可知，技术原理成熟，能适应不同地质条件，但存在塌孔、串浆、成本高等问题，需通过质量控制、方案优化和材料设备选择等措施改进。未来，需深化该工艺研究应用，完善技术与管理，提升工程质量、降低成本；同时探索融入新技术，新材料，推动其创新发展。

十、结论

高喷灌浆防渗工艺作为一种有效的防渗处理技术，具有施工

参考文献

- [1] 李洪斌. 高喷灌浆技术在高速公路施工中的应用 [J]. 交通世界, 2025, (08): 54-56.
- [2] 胡学玉. 高喷灌浆截渗工程生产性试验探析 [J]. 山东水利, 2023, (11): 44-46+52.
- [3] 单永亮. 高喷灌浆技术在水库除险加固中的应用 [J]. 中国高新科技, 2022, (24): 44-46.
- [4] 韩荣生. 高压旋喷灌浆技术在土石围堰及滦河复杂地质条件下的应用 [J]. 河北水利, 2021, (07): 38-39+48.
- [5] 王鹏. 厚覆盖层土石围堰组合防渗施工技术研究 [J]. 四川建材, 2020, 46(10): 84-86.
- [6] 苏李刚. 高喷灌浆技术在水利工程基础防渗处理中的应用 [J]. 工程建设与设计, 2020, (11): 94-95+98.
- [7] 白利峰. 锦凌水库围堰高压摆喷灌浆施工工艺及其质量控制研究 [J]. 黑龙江水利科技, 2016, 44(12): 179-182.
- [8] 魏殿伟. 高喷灌浆防渗墙在前坪水库砂卵石地层防渗中的应用 [J]. 中国水利, 2020, (18): 68-69.
- [9] 戚振中. 高喷灌浆技术在尾矿库地下防渗工程中的应用 [J]. 山西建筑, 2009, 35(26): 112-113.
- [10] 李正等. 高喷灌浆技术在水利工程中的应用与探讨 [J]. 内蒙古水利, 2002, (01): 88-90.