

超深竖井工作面涌水高压预注浆施工技术

卢 航

中国十五冶金建设集团有限公司 湖北 武汉 430070

摘要：本文介绍超深竖井工作面涌水高压预注浆施工技术。该技术通过高压注浆设备将注浆材料注入岩层裂隙中，以封堵涌水通道、增强地层稳定性。文中详细阐述注浆材料的种类与性能比较、注浆设备的选型与配置、注浆孔的布置与施工工艺，并强调注浆过程的监控与质量评价。通过实际工程应用，该技术有效解决了超深竖井工作面涌水问题，提高工程安全性和施工效率，对类似工程具有重要的参考和借鉴意义。

关键词：超深竖井；涌水；高压预注浆；施工技术

1 超深竖井工作面涌水特征与危害

1.1 涌水的来源与形成机制

在超深竖井的挖掘和施工过程中，涌水是一个常见且复杂的地质现象。涌水的来源多种多样，主要包括地下水位高、含水层丰富、地质构造复杂等自然因素。当地下水位高于竖井底部时，水压的作用会使得地下水通过岩层中的裂隙、溶洞、断层等天然通道涌入竖井。竖井的挖掘过程可能会破坏原有的地质平衡，导致周围岩层的应力重新分布，从而进一步加剧涌水现象。涌水的形成机制十分复杂，涉及到多个方面的因素，水文地质条件是涌水现象发生的基础，当地下水储量丰富，且地下水与地表水联系密切时，涌水现象更为普遍。工程扰动也是涌水形成的重要因素。竖井的挖掘会破坏原有的岩层结构，使岩层中的应力状态发生改变，导致岩层裂隙扩张或新裂隙产生，从而为地下水提供了更多的通道。地下水动力场的变化也会影响涌水的形成。在竖井挖掘过程中，地下水的水位、流速、流向等参数可能会发生变化，这些变化会进一步影响涌水的规模和持续时间。

1.2 涌水带来的施工困难与安全风险

涌水给超深竖井的施工带来了诸多困难和挑战，涌水会严重影响施工进度。由于涌水会导致竖井内积水，施工人员需要花费大量的时间和人力物力进行排水工作，这会大大延长工期，增加施工成本。涌水会改变竖井内的环境条件，大量涌水会使竖井内的湿度增加，温度降低，给施工人员的作业带来不便。涌水还可能携带泥沙、石块等杂质，这些杂质会在竖井内淤积，影响施工设备的正常运行和作业面的整洁度^[1]。更为严重的是，涌水还可能引发安全事故。涌水可能携带大量泥沙和石块，这些物质在高速流动时会对施工设备和人员造成冲击和伤害。大量涌水可能导致竖井内水位上升，对竖井结构产生浮力作用，增加结构失稳的风险。涌水还可能引

发坍塌事故，对施工人员的生命安全构成严重威胁。

2 超深竖井工作面涌水高压预注浆技术原理

超深竖井工作面涌水高压预注浆技术原理可以概述如下：在超深竖井的施工过程中，由于水文地质条件复杂、岩层裂隙发育等因素，工作面常常会出现涌水现象，这不仅影响了施工进度，还可能带来安全隐患。为了有效控制涌水，确保施工顺利进行，高压预注浆技术被广泛应用于超深竖井工作面涌水的处理中。技术原理；注浆材料：高压预注浆技术采用专用的高压注浆防水材料，这种材料通常具有低粘度、单组分的合成高分子聚氨酯特点，能够与水发生交联反应，形成多元网状封闭弹性体。注浆设备：通过高压灌注设备，将注浆材料高压注入到混凝土裂缝结构中。这种设备能够确保注浆材料在高压下充分渗透到岩层裂隙中。注浆过程；填充裂缝：注浆材料在高压下被注入到岩层裂隙中，逐渐填充所有裂缝，包括肉眼难以觉察的微小裂缝。化学反应：注浆材料在裂缝中遇水后，与水发生化学反应，释放二氧化碳气体，同时形成脲的衍生物，使注浆材料固结成为弹性体。产生渗压：化学反应释放的气体产生二次渗压，与高压推力共同作用，将弹性体压入并充满所有裂缝，达到止漏的目的。应用效果：高压预注浆技术能够有效控制超深竖井工作面的涌水现象，减少排水工作量，提高施工进度，同时降低施工安全风险。

3 注浆材料的选择与性能优化

3.1 注浆材料的种类及性能比较

注浆材料是高压预注浆技术的核心，其种类繁多，性能各异。常见的注浆材料包括水泥浆、化学浆（如聚氨酯、环氧树脂等）、混合浆等。不同注浆材料在黏度、渗透性、固化强度、抗渗性等性能上存在着明显的差异。水泥浆以其良好的流动性和固化强度在注浆工程中得到了广泛应用。它价格低廉，易于获取，但在某些

特定条件下,如低渗透性地层或需要快速固化的场合,其性能可能无法满足要求。化学浆则以其优异的渗透性和固化速度著称,能够迅速填充岩层裂隙,形成高强度的固化体。化学浆的成本相对较高,且可能对环境造成一定影响。混合浆则是结合了水泥浆和化学浆的优点,具有适中的性能和成本,但在具体应用中需要根据工程实际情况进行调配。在性能比较上,需要综合考虑注浆材料的黏度、渗透性、固化强度、抗渗性等因素。黏度较低的注浆材料能够更好地渗透到岩层裂隙中,但固化强度可能较低;而黏度较高的注浆材料则可能无法充分渗透到细小裂隙中。渗透性决定了注浆材料在岩层中的扩散能力,而固化强度则关系到注浆效果的长久性和稳定性。抗渗性则是对注浆材料性能的一项重要考验,只有具有良好抗渗性的注浆材料才能确保注浆效果的持久性^[2]。

3.2 注浆材料的选择依据及优化方法

注浆材料的选择应基于工程实际情况和具体需求进行。在选择注浆材料时,我们需要考虑几个方面的因素:(1)地层条件是影响注浆材料选择的重要因素,不同的地层条件对注浆材料的性能要求不同。例如,在渗透性较好的地层中,可以选择黏度较低的注浆材料以充分发挥其渗透性能;而在低渗透性地层中,则需要选择黏度较高、固化强度较大的注浆材料以确保注浆效果。(2)工程需求也是选择注浆材料的重要依据。不同的工程对注浆效果的要求不同,如止水、加固、防渗等。在选择注浆材料时,需要根据工程需求确定注浆材料的主要性能指标,并据此进行筛选和优化。(3)注浆材料的经济性和环保性也是选择过程中需要考虑的因素。在保证注浆效果的前提下,应选择经济合理的注浆材料,并尽量减少对环境的负面影响。在注浆材料的优化方法上,第一是通过改变注浆材料的配比和添加剂来优化其性能。第二是通过改进注浆工艺来提高注浆效果。例如,采用分段注浆、重复注浆等方式可以提高注浆材料的利用率和注浆效果;采用高压注浆设备可以确保注浆材料在高压下充分渗透到岩层裂隙中。第三是通过研发新型注浆材料来满足不同的工程需求。随着科技的不断进步,新型注浆材料不断涌现,它们具有更好的性能和更低的成本,能够更好地满足工程需求。

3.3 新型注浆材料的研究进展

近年来,随着科技的不断进步和工程需求的不断提高,新型注浆材料的研究取得了显著进展。这些新型注浆材料在性能上更加优异,能够更好地满足工程需求。一方面,新型注浆材料在渗透性和固化强度上得到了显著提升。通过改变注浆材料的分子结构和添加新型添加

剂,研究人员成功开发出具有更高渗透性和更强固化强度的新型注浆材料。这些材料能够更好地渗透到岩层裂隙中,形成高强度的固化体,从而有效控制涌水现象。另一方面,新型注浆材料在环保性和经济性上也得到了改进。研究人员通过采用环保型原材料和绿色生产工艺,成功降低了新型注浆材料的成本,并减少了对环境的负面影响。这些新型注浆材料不仅具有优异的性能,还具有良好的经济性和环保性,能够更好地满足现代工程的需求。新型注浆材料还具备一些特殊的功能性。这些特殊的功能性使得新型注浆材料在特定工程中具有更大的应用潜力。

4 注浆设备与施工工艺

4.1 高压注浆设备的选型与配置

高压注浆设备是注浆作业中不可或缺的关键工具,其选型与配置直接关系到注浆效果的好坏和施工效率的高低。高压注浆设备的选型需根据工程的具体需求和地层条件来确定,设备的工作压力、注浆流量、注浆材料适应性等参数需满足工程要求。对于超深竖井而言,设备需具备足够的工作压力,以确保注浆材料能够充分渗透到岩层裂隙中。设备的注浆流量也需适中,既能保证注浆效率,又能避免因流量过大而导致注浆材料浪费^[3]。在设备配置上,需考虑设备的配套性和完整性。一套完整的高压注浆设备应包括注浆泵、注浆管、注浆枪、混合器等关键部件。这些部件之间需相互匹配,以确保设备能够稳定、高效地运行。设备的数量也需根据工程规模来确定,以保证施工进度和注浆效果。在高压注浆设备的选型与配置过程中,还需考虑设备的操作性和维护性。设备应易于操作,方便施工人员使用。设备的维护保养也需简便易行,以降低施工成本和提高设备的使用寿命。

4.2 注浆孔的布置原则及施工工艺流程

注浆孔的布置是注浆作业中的关键环节,其布置原则需根据地层条件、涌水情况、注浆目的等因素来确定。首先,注浆孔应尽可能覆盖涌水区域,以确保注浆材料能够充分渗透到岩层裂隙中。注浆孔之间的距离也需适中,既要保证注浆效果,又要避免浪费注浆材料。其次,注浆孔的布置应考虑地层的稳定性。在布置注浆孔时,需避开地层的软弱带和破碎带,以免注浆作业对地层稳定性造成不利影响。施工工艺流程方面,注浆作业一般包括以下步骤;施工准备:包括注浆材料的准备、设备的检查与调试、注浆孔的布置与测量等。钻孔与清孔:根据注浆孔布置方案进行钻孔作业,并对钻孔进行清洗,以确保注浆孔畅通无阻。安装注浆管与注浆

枪：将注浆管插入注浆孔中，并安装注浆枪，确保注浆管与注浆枪之间连接紧密。注浆作业：根据注浆参数进行注浆作业，确保注浆材料能够充分渗透到岩层裂隙中。在注浆过程中，需注意观察注浆压力和注浆流量的变化，以及及时调整注浆参数。清洗与保养：注浆作业完成后，需对注浆设备和注浆孔进行清洗和保养，以确保设备能够长期稳定运行。

4.3 注浆参数的确定与调整方法

注浆参数是注浆作业中的重要参数，其确定与调整方法直接影响到注浆效果的好坏。注浆压力的确定需根据地层条件和注浆目的来确定，在超深竖井工作面涌水治理中，注浆压力需足够大，以确保注浆材料能够充分渗透到岩层裂隙中。注浆压力也需适中，避免过大而导致地层破坏或注浆材料浪费。注浆流量的确定需根据注浆孔的数量和注浆材料的性能来确定，在注浆过程中，需根据注浆压力的变化和注浆效果来调整注浆流量。当注浆压力升高时，可适当减小注浆流量；当注浆压力降低时，可适当增大注浆流量。注浆速度的确定需根据注浆材料的性能和地层条件来确定，在注浆过程中，需保持注浆速度的稳定性，避免因速度过快而导致注浆材料浪费或速度过慢而影响注浆效果。在注浆过程中还需根据地层条件和注浆效果的变化来及时调整注浆速度。

5 注浆过程的监控与质量评价

5.1 注浆过程中的监测内容与方法

在注浆过程中，对各项参数的实时监控是保证注浆质量的关键。主要的监测内容包括注浆压力、注浆流量、注浆速度、注浆材料的使用量等。监测方法通常借助专业的注浆监控系统 and 传感器设备来实现。注浆压力是注浆过程中的重要参数，直接影响注浆材料的渗透效果和地层结构的稳定性。通过安装在注浆管路上的压力表，可以实时监测注浆压力的变化，并根据实际情况调整注浆压力和注浆速度^[4]。注浆流量和注浆速度也是反映注浆效果的重要指标，通过流量计和速度传感器，可以实时监测注浆流量和注浆速度的变化，确保注浆过程在控制范围内进行。注浆材料的使用量也是监测的重要内容之一，通过记录注浆材料的使用量，可以了解注浆作

业的进展情况，及时发现并解决问题。

5.2 注浆效果的评价标准与指标体系

注浆效果的评价标准与指标体系是确保注浆质量的重要依据。评价标准通常包括注浆后的地层稳定性、渗透性降低程度、涌水量减少程度等方面。地层稳定性是评价注浆效果的重要指标。通过观测注浆后地层的变形和位移情况，可以评估注浆对地层稳定性的影响。渗透性降低程度是反映注浆效果的重要参数，通过测量注浆前后地层的渗透系数或渗透量，可以评估注浆对地层渗透性的改善程度。涌水量减少程度也是评价注浆效果的重要指标之一，通过比较注浆前后涌水量的变化，可以评估注浆对涌水问题的控制效果。还可以建立注浆效果的指标体系，综合考虑注浆前后的地层稳定性、渗透性、涌水量等因素，对注浆效果进行综合评价。

结束语

随着现代建筑工程技术的不断进步，超深竖井工作面涌水高压预注浆施工技术已成为解决涌水问题的有效手段。本文系统介绍该技术的各个方面，展示其在实际工程中的应用效果。未来，随着技术的不断创新和完善，有理由相信这一技术将在更多领域得到广泛应用，为保障工程质量和安全做出更大的贡献。

参考文献

- [1]张民庆.辛维克.贾大鹏.等.高压富水深竖井工作面预注浆关键技术参数研究及应用[J].现代隧道技术.2022.59(6):177-186.
DOI:10.13807/j.cnki.mtt.2022.06.021.
- [2]王静波.蔡兴健.杨建明.等.超深竖井高压裂隙涌水注浆堵水技术及其风险管理[J].黄金.2022.43(10):47-53.
DOI:10.11792/hj20221010.
- [3]王飞.深厚砂卵石地层超深竖井施工降水模型试验研究[J].现代隧道技术.2022.59(1).
DOI:10.13807/j.cnki.mtt.2022.01.020.
- [4]程德荣.李德.袁东锋.等.黔南地区巨厚灯影组富水白云岩井筒防治水方案比选研究[J].建井技术.2019.(4).
DOI:10.19458/j.cnki.cn11-2456/td.2019.04.003.