

聚氨酯注浆材料生产及应用

施贤仁 李强 俞斌 林志丰
浙江闽锋化学有限公司 浙江 丽水 323000

摘要：聚氨酯注浆材料通过异氰酸酯与多元醇的聚合反应，形成软硬段交替的线状嵌段共聚物。它兼具化学灌浆材料的共性与聚氨酯材料的独特优势，具有适中的黏度、出色的耐磨耐腐蚀性以及优越的粘结力。这些特性使其在众多领域展现出广阔的应用前景，成为解决工程问题的重要材料。研究其生产与应用，对于提高工程质量、保障工程安全具有重要意义。基于此，论文首先简析了聚氨酯注浆材料生产及应用的价值，其次深入研究了聚氨酯注浆材料的生产要点，最后则探讨了聚氨酯注浆材料应用现状及策略。希望论文的研究能够为相关从业者提供一些参考与意见。

关键词：聚氨酯注浆材料；生产；应用

引言：在现代工程建设领域，聚氨酯注浆材料凭借其独特的性能优势，成为解决复杂工程问题的关键材料之一。从生产角度而言，聚氨酯注浆材料具有显著的技术附加值，其生产过程涉及精细的聚合反应工艺，通过科学调节亲水性聚醚的EO/PO比例，可精准控制材料的各项性能指标，实现高性能与环保生产的双重目标。在应用层面，聚氨酯注浆材料凭借优异的粘结力、弹性及防水性能，广泛应用于水利工程、建筑加固等多个领域，有效提升了工程结构的稳定性和耐久性。并且，其显著的经济效益也备受关注，通过降低工程维护成本、提高生产安全性，为工程建设带来了实实在在的价值。所以，探讨聚氨酯注浆材料生产及应用是非常有意义的。

1 聚氨酯注浆材料生产及应用的价值

第一，从生产角度看，聚氨酯注浆材料具有较高的技术附加值。其生产过程涉及聚醚多元醇与多异氰酸酯的聚合反应，通过调节亲水性聚醚的EO/PO比例，可精准控制材料的亲水性、固化时间和力学性能。这种材料在生产中采用环保工艺，不产生有害物质，符合绿色发展理念，有助于提升企业的技术竞争力。

第二，在应用层面，聚氨酯注浆材料凭借优异的性能成为解决复杂工程问题的理想选择。其突出的粘结力和弹性，使其能够快速填充并固化混凝土裂缝，形成致密的防水屏障^[1]。水利工程中，聚氨酯注浆材料可有效防止水体渗漏，保障水利设施安全运行；在建筑领域，它既能用于高层建筑的地基加固，也能修复老旧房屋的隐蔽裂缝，能够最大程度上延长建筑使用寿命。

第三，从经济效益角度分析，聚氨酯注浆材料的应用显著降低了工程维护成本。以地下室防水工程为例，传统防水材料需频繁维修，而聚氨酯注浆材料一次施工即可实现长期防水效果，综合成本降低约30%。在煤矿工

程中，聚氨酯注浆材料用于井下注浆堵水和防水煤柱加固，其结果既提高了生产安全性，还显著减少了因水害导致的停工损失。

第四，在技术创新方面，聚氨酯注浆材料的研发推动了行业进步。针对传统发泡型材料存在的发泡倍率过高、收缩率大等问题，新型低发泡强粘结弹性聚氨酯灌浆料通过添加特殊成分，将发泡倍率降低至可控范围，同时提升材料弹性，有效抵御结构形变应力。这种创新解决了工程应用中的技术难题的同时，还成功拓展了材料的应用场景。

2 聚氨酯注浆材料的生产要点

2.1 原材料选择

2.1.1 聚醚多元醇

聚醚多元醇作为聚氨酯注浆材料生产的核心原料之一，其种类与质量特性对最终产品的性能起着决定性作用。聚醚多元醇依据其分子结构与分子量的不同，可赋予聚氨酯材料多样化的性能特征。具体而言，高分子量的聚醚多元醇通常能够赋予聚氨酯材料卓越的柔韧性和较高的伸长率，该特性使得聚氨酯材料在需要承受较大形变的应用场景中表现出色，如某些需要适应复杂变形环境的注浆工程。相反，低分子量的聚醚多元醇则倾向于提高聚氨酯材料的硬度和强度，使其更适用于对结构强度有较高要求的场合。

实际生产过程中，选择合适的聚醚多元醇是确保产品性能满足设计要求的关键步骤。这要求生产厂家不仅需深入了解各种聚醚多元醇的性能特点，还需根据具体产品的应用场景和性能需求，进行精确的原料配比和选择^[2]。除此之外，聚醚多元醇的含水量、酸值等质量指标同样需要严格控制。其中，水分作为反应性杂质，会与异氰酸酯发生不必要的副反应，不仅消耗原料，还可能

引入缺陷,影响产品的整体质量。而酸值过高则可能导致反应过程失控,产生凝胶、交联不均等问题,则会严重影响产品的物理性能和化学稳定性。

2.1.2 多异氰酸酯

多异氰酸酯是聚氨酯注浆材料生产的另一大关键原料,其种类和性能直接决定着聚氨酯材料的固化速度、硬度、耐磨性等关键性能。常见的多异氰酸酯包括甲苯二异氰酸酯(TDI)和二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)等。TDI以其较高的反应活性著称,能够使聚氨酯材料在较短时间内快速固化,这一特性在需要快速施工或紧急修复的场合尤为重要。但问题是,TDI的挥发性较大,长期接触或吸入其蒸汽可能对人体健康造成危害,同时也不利于环境保护。

相对来说,MDI具有较低的挥发性,生产过程更加环保,符合当前日益严格的环保法规要求。另一方面,MDI基聚氨酯材料在硬度、耐磨性等方面表现出更优异的性能,这使得MDI在高端聚氨酯注浆材料生产中的应用越来越广泛。随着技术的进步和环保意识的提高,MDI正逐步成为聚氨酯注浆材料生产中的首选多异氰酸酯原料。

2.2 生产工艺

2.2.1 预聚体合成

预聚体合成是聚氨酯注浆材料生产的核心环节,其过程涉及聚醚多元醇与多异氰酸酯在特定条件下的化学反应。生产过程中,需将精确计量的聚醚多元醇和多异氰酸酯按照一定比例加入反应釜中,并在适当的温度和催化剂作用下进行反应。反应温度是控制反应进程和产品质量的关键因素之一,通常控制在80℃~100℃之间。过高的温度可能导致反应失控,产生凝胶或交联过度,使产品失去使用价值;而过低的温度则会使反应速度过慢,影响生产效率。

催化剂的选择和用量同样至关重要。催化剂能够降低反应活化能,加速反应进程,提高生产效率。常用的催化剂有二月桂酸二丁基锡等,其用量需要根据反应体系的特点进行精确调整。催化剂用量过多可能导致反应过于剧烈,产生副产物;而用量过少则可能使反应速度过慢,影响产品质量。因此,在预聚体合成过程中,需要严格控制反应温度和催化剂用量,确保反应的顺利进行和产品质量的稳定。

2.2.2 后处理

预聚体合成完成后,还需要进行一系列后处理工序,以去除反应过程中产生的杂质和未反应的原料,提高产品的纯度和稳定性。常见的后处理方法包括真空脱

气、过滤等。

其中,真空脱气是利用真空泵降低系统压力,使预聚体中的水分和低沸点物质在较低温度下挥发出来,从而达到去除杂质的目的。该步骤对于提高产品的稳定性和储存性能至关重要。水分和低沸点物质的存在可能导致产品在储存过程中发生水解、氧化等反应,降低产品质量。

而过滤则是通过物理方法去除预聚体中的固体杂质,保证产品的纯度和均匀性^[3]。但需要注意的是,过滤过程中,应选择合适的过滤介质和过滤压力,以确保杂质被有效去除,同时避免对预聚体造成不必要的损伤。

经过后处理的预聚体,根据产品的性能要求,还可以添加适量的助剂,如增塑剂、稳定剂等。增塑剂能够增加聚氨酯材料的柔韧性和可塑性,使其更易于加工和使用;稳定剂则能够提高产品的耐候性、耐老化性等性能,延长产品的使用寿命。这些助剂的添加量和种类需要根据具体产品的应用场景和性能需求进行精确调整,以确保产品性能达到最佳状态。

2.3 生产过程中的质量控制

2.3.1 原材料检验。在原材料入库前,需对聚醚多元醇、多异氰酸酯等关键原料进行严格的检验,包括外观、纯度、含水量、酸值等指标的检测。只有符合质量要求的原材料才能进入生产环节。

2.3.2 生产过程监控。在生产过程中,需对反应温度、催化剂用量、反应时间等关键参数进行实时监控和调整,确保反应过程按照预定工艺进行。同时,还需对生产过程中的中间产物进行定期抽检,及时发现并处理潜在的质量问题。

2.3.3 成品检测。在成品出厂前,需对产品的物理性能、化学性能、机械性能等进行全面检测,确保产品各项指标均符合相关标准和设计要求。只有经过严格检测并合格的产品才能出厂销售。

3 聚氨酯注浆材料应用现状

3.1 施工技术层面

在实际施工中,注浆压力的控制难度较大。若注浆压力过小,聚氨酯注浆材料无法充分填充缝隙和空洞,导致防水、加固效果不佳。如在隧道衬砌的注浆施工中,压力不足会使浆液无法到达细微裂缝深处,从而留下渗漏隐患。相反,注浆压力过大则可能引发结构破坏,如在老旧建筑的墙体裂缝注浆时,过高的压力可能导致墙体出现新的裂缝,甚至局部坍塌。另一方面,注浆量的精准计算也颇具挑战。注浆量不足,无法达到预期的加固或防水效果;注浆量过多,不仅造成材料浪

费,还可能污染周边环境,增加后续清理成本。

施工过程中的环境因素对聚氨酯注浆材料的性能影响显著。温度和湿度的变化会改变材料的固化时间和反应速率。在低温环境下,聚氨酯注浆材料的固化速度变慢,甚至可能无法完全固化,降低材料的强度和粘结力。而在高湿度环境中,水分可能与聚氨酯材料发生副反应,产生气泡,影响材料的致密性,进而降低防水和加固性能。

3.2 材料质量层面

市场上聚氨酯注浆材料质量参差不齐,部分产品质量难以达标。具体表现有:第一,一些不良厂商为降低成本,使用劣质原材料或不按标准配方生产,导致材料的性能与宣传严重不符。如,部分产品的粘结力不足,无法与基层牢固结合,在受到外力作用时容易脱落;第二,一些材料的耐老化性能差,经过一段时间的使用后,防水和加固效果大幅下降,无疑缩短了工程的使用寿命;第三,材料的储存和运输不当也会影响其质量。聚氨酯注浆材料对储存环境要求较高,若储存温度过高或过低,以及接触水分、杂质等,都可能导致材料提前变质,影响使用效果。

3.3 用户认知层面

部分施工人员和工程管理人员对聚氨酯注浆材料的了解不够深入,缺乏正确的使用知识和技能。他们可能不了解材料的适用范围、施工工艺要求以及注意事项,在施工过程中随意操作,导致施工质量下降^[4]。如,在混合聚氨酯注浆材料时,未按照规定的比例进行调配,影响材料的性能;在注浆过程中,没有采取有效的防护措施,对施工人员的身体健康造成危害。并且,一些用户在选择聚氨酯注浆材料时,过于关注价格,严重忽视了材料的质量和性能,导致在工程中使用了不适合的材料,埋下质量隐患。

4 聚氨酯注浆材料应用策略

4.1 施工技术优化

为有效控制注浆压力和注浆量,施工前需对工程进行详细勘察,结合工程的结构特点、地质条件等因素,采取理论计算和现场试验的方法,确定合理的注浆参数。在此基础上,应使用先进的注浆设备,配备压力和流量监测装置,实时监控注浆过程,最大程度上确保注浆参数符合要求。而在应对环境因素方面,可根据不同的施工环境,调整聚氨酯注浆材料的配方或添加相应的助剂,以改善材料的施工性能。

4.2 材料质量管控

加强对聚氨酯注浆材料市场的监管,建立严格的质量检测和认证体系,加大对劣质产品的打击力度,规范市场秩序。首先,施工单位在采购材料时,应选择正规的生产厂家,查看产品的质量检测报告、合格证等相关文件,确保材料质量符合要求。其次,加强对材料储存和运输环节的管理,按照材料的储存要求,提供适宜的储存环境,避免材料受到损坏。尤其在材料使用前,应重点进行抽样检测,确保材料性能稳定。

4.3 用户培训与教育

开展针对施工人员和工程管理人员的培训活动,邀请专家进行授课,系统讲解聚氨酯注浆材料的性能特点、施工工艺、安全注意事项等知识,提高他们的专业技能和质量意识。培训内容应包括理论知识和实际操作,通过现场演示和案例分析,让施工人员更好地掌握施工要点。而仅仅举办培训活动是远远不够的,还应积极宣传和推广,引导用户正确认识聚氨酯注浆材料,使其了解材料质量和性能的重要性,避免因盲目追求低价而忽视质量。

结语

聚氨酯注浆材料凭借其独特的性能优势,在众多工程领域展现出巨大的应用潜力,为解决复杂工程问题提供了有效的途径。其生产涉及精细的原材料选择、严谨的生产工艺以及严格的质量控制,每一个环节都对最终产品的性能起着至关重要的作用。面对实际应用中存在的一些问题,需从施工技术优化、材料质量管控等多方面入手,采取有效的应用策略。通过不断改进和完善,充分发挥聚氨酯注浆材料的优势,提高工程质量,保障工程安全,推动聚氨酯注浆材料行业的持续健康发展,为我国的工程建设事业做出更大的贡献。

参考文献

- [1]于潇洋,王玉超,柏广峰,等.矿用聚氨酯基加固材料稳定性研究[J].煤炭科学技术,2021,49(10):66-70.
- [2]李文杰,申铁军.聚氨酯新型复合注浆材料在隧道小导管注浆中的应用[J].河南建材,2025(3):24-27.
- [3]李阳,陈贵锋,王玉超,于潇洋,李硕林.煤矿用聚氨酯注浆材料改性研究进展[J].煤质技术,2025,40(1):9-15.
- [4]李强,黄浩,吕扬,王嗣桐,王路,马晓涛.新型聚氨酯注浆材料的研制及其在煤层防治水中的应用[J].能源与环保,2024,46(5):45-49.