

# 化学灌浆材料性能及其在工程中的应用

温海峰

宁夏水利水电工程局有限公司 宁夏 银川 750001

**摘要:** 本文详细探讨了化学灌浆材料中丙烯酸盐的性能特点, 包括其物理化学性质、反应机理、力学性能以及耐久性等方面。同时, 结合实际工程案例, 分析了丙烯酸盐化学灌浆材料在土木工程、水利工程、矿山工程等多个领域的应用情况, 阐述了其在解决工程渗漏、加固地基、处理裂缝等问题上的显著效果和优势。旨在为相关工程领域的技术人员提供全面、深入的理论参考和实践指导。

**关键词:** 化学灌浆材料; 丙烯酸盐; 性能; 工程应用

## 1 引言

在各类工程建设中, 渗漏、地基沉降、结构裂缝等问题严重影响工程质量和安全, 甚至威胁人们的生命财产。化学灌浆技术通过将特定化学浆液注入地基或结构裂缝, 固化后实现填充、密封、加固和防渗等效果。丙烯酸盐化学灌浆材料作为新型灌浆材料, 因独特性能优势在工程领域备受关注。深入研究其性能及应用, 对提高工程质量、保障工程安全意义重大。

## 2 丙烯酸盐化学灌浆材料的性能

### 2.1 物理化学性质

丙烯酸盐化学灌浆材料为含丙烯酸盐单体(如丙烯酸镁、钙等)、引发剂(如过硫酸铵、钾等)、促进剂(如亚硫酸氢钠等)、交联剂(如N,N'-亚甲基双丙烯酰胺等)的水溶液体系。外观多为无色或淡黄色透明液体, 密度 $1.05\sim 1.15\text{g/cm}^3$ , 流动性好, 运动粘度 $10\sim 50\text{mPa}\cdot\text{s}$ ( $20^\circ\text{C}$ ), 可注入微小缝隙。丙烯酸盐单体反应活性高, 在引发剂和促进剂作用下迅速聚合, 如过硫酸铵 $40\sim 60^\circ\text{C}$ 分解产生自由基引发连锁反应。交联剂使聚合物网络更紧密, 提升凝胶强度和稳定性。凝胶亲水性强, 潮湿环境可固化, 在含水地层和渗漏处理中优势突出。

### 2.2 反应机理

丙烯酸盐化学灌浆材料的聚合反应属于自由基聚合反应。当引发剂(如过硫酸铵)在适当的温度下分解产生自由基时, 这些自由基会攻击丙烯酸盐单体分子中的双键, 使其打开并与其他单体分子发生连锁反应, 形成高分子聚合物链。交联剂的加入则可以在聚合物链之间形成化学键, 使聚合物网络结构更加紧密, 从而提高凝胶体的强度和稳定性<sup>[1]</sup>。整个反应过程迅速且可控, 能够在短时间内完成固化, 满足工程对施工效率的要求。

### 2.3 力学性能

**抗压强度:** 丙烯酸盐凝胶体抗压强度受单体浓度、交联剂用量、固化条件影响。实验显示, 单体浓度20%-40%时, 浓度增加, 7天抗压强度增大, 如20%时约0.5MPa, 40%时约3.0MPa。交联剂用量一般为单体质量的0.1%-0.5%, 0.1%时凝胶软、强度低, 0.5%时强度明显提升。适宜固化温度( $20\sim 40^\circ\text{C}$ )和时间(7-28天)可使抗压强度达最佳。

**抗拉强度和粘结强度:** 丙烯酸盐凝胶体具有一定的抗拉强度和粘结强度。其抗拉强度一般在 $0.1\sim 1.0\text{MPa}$ 之间, 能够承受一定的拉应力, 防止裂缝的进一步扩展。粘结强度方面, 丙烯酸盐凝胶体与混凝土、岩石等常见工程材料的粘结强度可达 $0.5\sim 2.0\text{MPa}$ 。例如, 在与混凝土粘结时, 经过合理设计和施工的丙烯酸盐灌浆层, 其粘结强度能够满足工程结构对整体性和稳定性的要求, 有效传递应力。

### 2.4 耐久性

**抗化学侵蚀性:** 丙烯酸盐凝胶体对多种化学物质具有一定的抵抗能力。在酸性环境中( $\text{pH} = 2\sim 4$ ), 经过30天的浸泡试验, 凝胶体的质量损失率一般在5%以内, 抗压强度保留率在80%以上; 在碱性环境中( $\text{pH} = 10\sim 12$ ), 质量损失率约为3%, 抗压强度保留率可达85%左右。在盐溶液(如5%的NaCl溶液)中浸泡60天后, 凝胶体的性能变化较小, 质量损失率低于2%, 抗压强度保留率在90%以上。这表明丙烯酸盐化学灌浆材料能够在一定程度上耐受酸、碱、盐等化学介质的侵蚀, 适用于化工企业或存在化学污染的工程环境。

**抗老化性能:** 经过特殊的配方设计和处理, 丙烯酸盐化学灌浆材料具有良好的抗老化性能。在模拟自然环境的加速老化试验中(如紫外线照射、温度循环、湿度变化等), 经过500小时的老化试验后, 凝胶体的抗压强度保留率仍在85%以上, 外观无明显变化, 颜色和质地基

本保持稳定。在户外工程和长期使用的工程结构中，丙烯酸盐化学灌浆材料能够保持其性能的相对稳定，延长工程的使用寿命。

### 2.5 环保性能

与一些传统的化学灌浆材料相比，丙烯酸盐化学灌浆材料具有较好的环保性能。其单体和固化产物大多为低毒或无毒物质，根据相关毒性试验，丙烯酸盐单体的半数致死量（LD<sub>50</sub>）一般在2000-5000mg/kg以上，属于低毒物质<sup>[2]</sup>。在施工过程中，丙烯酸盐浆液不会产生大量的有害气体和废弃物，对环境 and 人体健康的危害较小。同时，丙烯酸盐化学灌浆材料在固化后对地下水等环境介质的影响也相对较小，其溶出物浓度符合国家相关环保标准，有利于保护生态环境。

## 3 丙烯酸盐化学灌浆材料在工程中的应用

### 3.1 土木工程中的应用

地基处理：在软土地基处理中，丙烯酸盐化学灌浆材料可用于提高地基的承载力和稳定性。通过将浆液注入到软土层中，使土颗粒与凝胶体相互胶结，形成一个具有一定强度和刚度的复合地基。这种方法能够有效减少地基的沉降，提高建筑物的安全性。例如，在一些高层建筑和大型基础设施工程中，采用丙烯酸盐化学灌浆技术对软土地基进行加固处理，取得了良好的效果。

隧道工程：隧道工程中常常会遇到渗漏水 and 围岩稳定性问题。丙烯酸盐化学灌浆材料可以用于隧道衬砌背后的注浆，填充衬砌与围岩之间的空隙，提高围岩的整体性和稳定性，同时起到防渗作用。在隧道渗漏水治理方面，丙烯酸盐浆液能够迅速渗入到裂缝和孔隙中，固化后形成有效的防水屏障，解决隧道渗漏难题，保障隧道的正常运营。

边坡工程：对于一些土质边坡或存在裂缝的岩质边坡，丙烯酸盐化学灌浆材料可用于加固边坡土体和封闭裂缝，防止边坡失稳和滑坡等灾害的发生。通过在边坡内部形成一定强度的凝胶体网络，提高边坡土体的抗剪强度，增强边坡的整体稳定性。同时，灌浆处理还可以减少雨水等对边坡的侵蚀，保护边坡的生态环境。

### 3.2 水利工程中的应用

水库大坝防渗：水库大坝的渗漏问题直接影响水库的安全运行和蓄水能力。丙烯酸盐化学灌浆材料可用于大坝坝体、坝基和绕坝渗漏的处理。通过在大坝内部形成连续的防渗帷幕，阻止水流的渗透，提高大坝的防渗性能。与传统的防渗处理方法相比，丙烯酸盐化学灌浆技术具有施工方便、对大坝结构影响小、防渗效果好等优点，在大坝防渗加固工程中得到了广泛应用。

渠道防渗：在农业灌溉渠道和城市供水渠道的防渗处理中，丙烯酸盐化学灌浆材料也发挥着重要作用。将浆液注入到渠道衬砌的裂缝和接缝中，固化后形成防水层，减少水分的渗漏损失，提高水资源的利用效率。同时，丙烯酸盐灌浆处理还可以增强渠道衬砌的结构强度，延长渠道的使用寿命。

水工建筑物裂缝修补：水工建筑物如水闸、渡槽等在长期运行过程中，由于各种原因可能会出现裂缝。丙烯酸盐化学灌浆材料可用于这些裂缝的修补，通过注入浆液填充裂缝，恢复建筑物的整体性和防水性能<sup>[3]</sup>。其良好的流动性和粘结性能能够确保浆液充分填充裂缝，并且与周围的混凝土等材料紧密结合，达到有效的修补效果。

### 3.3 矿山工程中的应用

矿井防渗与堵水：在矿山开采过程中，矿井涌水是一个常见且严重的问题，不仅影响矿山的正常生产，还可能对矿工的生命安全构成威胁。丙烯酸盐化学灌浆材料可用于矿井巷道的防渗和堵水处理，通过在巷道围岩中注入浆液，形成防水帷幕，减少地下水的涌水量。同时，对于已经出现的涌水点，可以采用丙烯酸盐浆液进行快速封堵，控制水患，保障矿山的安全生产。

采空区治理：矿山采空区容易引发地面塌陷等地质灾害，对周边环境和建筑物造成破坏。丙烯酸盐化学灌浆材料可用于采空区的充填治理，将浆液注入到采空区内，固化后形成具有一定强度的充填体，支撑上覆岩层，减少地面塌陷的风险。此外，丙烯酸盐充填体还可以改善采空区的应力分布，提高矿山的稳定性。

## 4 丙烯酸盐化学灌浆材料应用中的注意事项

### 4.1 施工工艺控制

浆液配制：严格按照设计要求进行浆液的配制，准确控制各种原材料的用量。例如，丙烯酸盐单体浓度误差应控制在±1%以内，引发剂和促进剂的用量误差应控制在±0.1%以内。在配制过程中，要使用精确的计量设备，如电子天平、量筒等，确保浆液的性能符合工程需求。同时，要注意搅拌均匀，搅拌时间一般不少于5分钟，避免出现局部浓度不均等问题。

注浆参数选择：根据工程地质条件、裂缝或孔隙的大小和分布等情况，合理选择注浆压力、注浆量、注浆速度等参数。在软土地基灌浆中，注浆压力一般控制在0.2-0.5MPa，注浆量根据地基的孔隙率和处理深度确定，一般为每米孔深0.5-1.0m<sup>3</sup>；在隧道衬砌背后注浆中，注浆压力可适当提高到0.3-0.6MPa，注浆速度控制在10-30L/min。注浆压力过大可能导致浆液扩散范围过大，造成浪费甚至对周围结构造成破坏；注浆压力过小则可能无法

使浆液充分填充裂缝和孔隙,影响灌浆效果。

**施工顺序:**在复杂的工程结构中进行灌浆施工时,要合理安排施工顺序,遵循“先外围后内部、先深后浅、先下后上”等原则。例如,在矿井防渗堵水工程中,先对矿井外围的渗漏通道进行灌浆封堵,形成封闭的防渗圈,然后再对矿井内部的渗漏点进行处理;在采空区充填治理中,先对采空区深部的孔隙进行灌浆充填,再对浅部进行处理,确保浆液能够均匀扩散,形成有效的灌浆体系。

#### 4.2 质量检测与验收

**灌浆效果检测:**在灌浆施工完成后,要采用合适的方法对灌浆效果进行检测。钻孔取芯是一种常用的检测方法,通过钻孔取出灌浆体的芯样,观察芯样的完整性、密实度和与周围土体或结构的粘结情况。一般来说,芯样的完整率应达到90%以上,与周围土体或结构的粘结强度应符合设计要求<sup>[4]</sup>。压水试验可以检测灌浆体的防渗性能,在灌浆体上钻孔进行压水试验,透水率应小于设计规定的值。物探检测如地质雷达检测可以直观地显示浆液的扩散范围和填充情况,为灌浆效果的评价提供依据。

**验收标准:**制定严格的验收标准,对灌浆工程的质量进行全面评估。验收内容包括灌浆材料的性能指标、施工工艺的执行情况、灌浆效果等方面。例如,灌浆材料的抗压强度、抗拉强度、粘结强度等性能指标应符合设计要求;施工工艺中的浆液配制、注浆参数选择、施工顺序等应严格按照规范执行;灌浆效果应通过钻孔取芯、压水试验、物探检测等方法进行验证,达到设计规定的防渗、加固等效果。只有符合验收标准的工程才能交付使用,确保工程质量和安全。

#### 4.3 安全与环保措施

**施工安全:**在丙烯酸盐化学灌浆施工过程中,要严格遵守安全操作规程,采取必要的安全防护措施。施工

人员要佩戴好防护用品,如防护眼镜、手套、口罩等,防止浆液溅到皮肤和眼睛上。同时,要注意施工现场的通风换气,避免浆液挥发产生的有害气体对施工人员造成危害。在注浆过程中,要密切关注注浆压力和注浆量的变化,防止出现爆管等安全事故。

**环境保护:**加强对施工废弃物的处理,避免浆液等污染物对周围环境造成污染。对于施工过程中产生的废水、废渣等,要按照环保要求进行集中处理和处置,做到达标排放。例如,废水可以通过沉淀、过滤、中和等处理工艺进行处理,使其达到国家规定的排放标准后再排放;废渣可以进行固化处理后填埋,减少对土壤和水体的污染。

#### 结语

丙烯酸盐化学灌浆材料因物理化学、力学、耐久及环保性能优异,在土木、水利、矿山等领域广泛应用且成效显著。实际应用中,需严控工艺、强化质检与验收,落实安全环保措施。未来,随性能优化、智能化施工应用、技术融合及领域拓展,其将在工程建设中发挥更大作用,保障质量、提升安全、延长寿命。工程技术人员应深入研究其性能与应用技术,推动更广泛应用。

#### 参考文献

- [1] 乐阳.旱岩水库除险加固中的化学灌浆材料工艺应用[J].云南水力发电,2023,39(08):159-162.
- [2] 《化学灌浆材料相关标准汇编》出版[J].建材技术与应用,2021,(04):64.
- [3] 汪在芹,廖灵敏,李珍,等.CW系化学灌浆材料与技术及其在水库大坝除险加固中的应用[J].长江科学院院报,2021,38(10):133-139+147.
- [4] 李思明,赵庆涛,张俊,等.化学灌浆在拱坝防渗面板裂缝处理中的应用[C]//《施工技术》杂志社.2024年全国土木工程施工技术交流会论文集(下册).云南建投第一水利水电建设有限公司,2024:115-117.