

# 基岩裂隙发育程度对灌浆质量的影响分析

孙玉玉

中国水电建设集团十五工程局有限公司 陕西 西安 710116

**【摘要】**：基岩裂隙的发育程度对灌浆质量具有重要影响。裂隙发育较为复杂的区域，灌浆材料的渗透性、填充效果和固结质量受到明显制约。研究表明，裂隙的大小、形态及其连通性直接影响灌浆液体的流动路径及固结层的均匀性。在裂隙发育严重的区域，传统灌浆方法往往难以保证理想效果。通过优化灌浆材料的配方、采用分段灌浆或双液灌浆技术，以及精准控制注入压力等措施，可以有效提高灌浆质量，增强工程的稳定性和长期安全性。

**【关键词】**：基岩裂隙；灌浆质量；渗透性；填充效果；稳定性

DOI:10.12417/2705-0998.25.24.007

## 引言

基岩裂隙发育的程度在地下工程中具有关键作用，它不仅影响灌浆质量，还关系到工程的长期稳定性和安全性。随着现代建筑与地下工程的不断发展，如何在不同裂隙条件下实现高效且稳定的灌浆质量成为工程界的重要课题。不同的裂隙类型和发育程度对灌浆材料的扩散性、填充效果和最终固结质量具有深刻影响。尤其在裂隙发育较为复杂的地区，灌浆工艺面临着严峻的挑战。对基岩裂隙发育程度对灌浆质量的影响进行深入分析，能够为改善灌浆效果、优化施工工艺提供理论支持，并为实际工程提供技术参考。

## 1 基岩裂隙的发育特点与分类

裂隙作为基岩中的天然缺陷，具有不同的发育类型和程度。裂隙的发育不仅与岩石的成因、构造和演化有关，还与地质条件、地震活动及外部水文条件等多种因素密切相关。基岩裂隙可分为纵向裂隙、横向裂隙和斜向裂隙，每种裂隙的发育特征与形成机理各异，直接影响灌浆材料的扩散和填充效果。纵向裂隙通常沿着地层的沉积方向发育，其长度较长，常见于沉积岩层中，裂隙的扩展方向对灌浆材料的流动路径有显著影响。横向裂隙则沿着层面或构造面发展，主要分布在较为坚硬的岩石中，裂隙的扩展通常较为有限，但其对灌浆材料的扩散性和渗透性影响较大。斜向裂隙则因地质构造变动形成，通常较为复杂，对灌浆质量的影响最为显著，因为其较为不规则的形态和走向使得灌浆难度增大，灌浆材料容易流失或者无法完全充填裂隙。

裂隙的发育程度与裂隙的数量、大小及相互连接的方式密切相关<sup>[1]</sup>。发育程度较低的裂隙，通常较为孤立，且裂隙之间的连通性较差，这样的情况有利于灌浆材料的充填和固结。反之，裂隙发育较为复杂且相互贯通时，灌浆材料很难均匀地扩展到每一个裂隙，灌浆效果较差，可能导致灌浆层的不均匀性，进而影响整个工程的稳定性。裂隙的大小和开口宽度也对灌浆质量起着至关重要的作用，大裂隙可能导致灌浆材料流失过快或无法完全填充。对这些裂隙的认知和分析，将帮助制定更加

精确的灌浆方案，提高灌浆的有效性和长期效果。

## 2 裂隙发育程度对灌浆材料渗透性的影响

裂隙越发育，岩层的渗透性通常越强，这使得灌浆材料在岩石内部的扩散和充填情况变得复杂。裂隙的存在直接改变了灌浆液体的流动路径，尤其是在裂隙发育严重的区域，灌浆材料的渗透性会受到裂隙数量、开口大小以及裂隙间的连通性等因素的影响。在裂隙发育较为密集的区域，灌浆材料在这些裂隙中的流动性变强，但流动速度也加快，导致灌浆液体未能充分填充裂隙内的每一部分，影响了灌浆效果的均匀性与稳定性。

裂隙的开口宽度对灌浆液体的渗透性起着关键作用。在开口较大的裂隙中，灌浆液体的流动会非常迅速，且可能出现不均匀的流动现象。随着灌浆液体的迅速流动，灌浆材料未能在裂隙内部有效固结，从而导致灌浆质量下降<sup>[2]</sup>。相对而言，在裂隙较小且开口较为窄小的情况下，灌浆材料的渗透性会受到限制，流动速度变慢，使得灌浆液体能够更均匀地扩展到裂隙的各个部分，从而提高灌浆效果。在裂隙发育较差的地方，虽然渗透性较低，但灌浆液体容易达到预期的填充效果，也能更有效地密实基岩，提高工程的稳定性。

裂隙的连通性是影响渗透性的又一重要因素。裂隙之间若存在较好的连通性，灌浆材料会沿着连通的通道迅速流动，进一步加大灌浆的难度。尤其在复杂的地质结构中，裂隙的多重交错和方向变化增加了灌浆的难度，灌浆材料可能会通过较大裂隙快速流动，漏掉其它较小的裂隙，导致灌浆效果的分布不均匀。对于这种情况，通常需要调整灌浆液体的粘度或者采用更合适的灌浆技术，以确保材料能够在裂隙系统中均匀渗透。

在裂隙发育程度较高的岩体中，灌浆材料的渗透性不单单取决于裂隙的形态和数量，还与周围岩石的物理性质密切相关。岩石的硬度、孔隙度以及岩石的结构特征等都会影响灌浆材料的扩散能力。当岩石本身具有较高的孔隙度和较低的硬度时，灌浆液体更容易渗透并与岩石进行良好的结合，从而改善灌浆质量。反之，在硬度较大且孔隙度较低的岩石中，灌浆液

体的渗透性降低,可能无法有效渗透至裂隙内部,影响灌浆质量的稳定性。

### 3 裂隙发育对灌浆填充效果的影响

在裂隙发育较为严重的区域,灌浆材料的填充效果通常较差。裂隙的大小、形态以及与其它裂隙的连通性都影响着灌浆材料的填充能力。裂隙发育越复杂,灌浆液体就越难有效渗透并填充裂隙的每个部分,导致灌浆效果的不均匀性,进而影响工程的稳定性和可靠性。在裂隙多且互相贯通的岩体中,灌浆液体容易沿着大裂隙流动,难以达到裂隙的深部或狭窄部位,这就导致了裂隙未被完全填充,灌浆效果差。即使灌浆液体通过较大裂隙进入深部,随着流动速度加快,灌浆材料也往往无法在裂隙内有效扩展,最终无法形成均匀的固结层。

裂隙的开口宽度对填充效果有着显著影响。开口较大的裂隙常常导致灌浆材料流动速度过快,从而使灌浆液体失去与岩体的良好接触,导致灌浆不均匀甚至出现漏浆现象。在这种情况下,灌浆材料的填充效果大打折扣,难以有效充填裂隙的各个部分,造成灌浆层的不稳定。相反,裂隙较小的岩层则能够提供更高的灌浆填充效果,尤其是在裂隙开口较窄的情况下,灌浆液体的流动速度较慢,液体能更好地渗透到裂隙的每个角落,填充效果较为理想。裂隙的形态和走向也是影响灌浆填充效果的重要因素<sup>[3]</sup>。不同类型的裂隙对灌浆材料的充填路径和方式有不同的影响。纵向裂隙通常沿着岩层的沉积方向发育,灌浆材料能够沿着裂隙方向扩展,但如果裂隙间的连通性较差,灌浆液体就会受到限制,无法有效覆盖裂隙的全部区域。斜向或不规则的裂隙则更为复杂,它们的走向和形态可能会导致灌浆液体沿非预期路径流动,增加了灌浆不均匀的风险。这类裂隙常常是灌浆填充难度最大的一类,灌浆材料的填充效果更为难以控制,往往需要采用特殊的技术手段来确保裂隙的有效充填。

裂隙的数量和分布也在一定程度上影响灌浆的填充效果。在裂隙数量较多且分布均匀的岩体中,灌浆材料能够比较均匀地填充各个裂隙,整体的充填效果较好。在裂隙数量过多且呈现杂乱无章分布的情况,灌浆液体往往难以精准控制,灌浆路径较难预测,填充效果因此受到影响。裂隙的连通性与规模也决定了灌浆材料在岩体中的流动模式和扩展范围,裂隙越多且相互连通,灌浆液体就越容易偏向较大裂隙流动,导致局部区域的充填不完整。对灌浆工艺的调整和优化可以在一定程度上改善裂隙发育对填充效果的影响。通过改变灌浆液体的配方、提高其粘度或添加辅助填充材料,可以有效增强灌浆材料的流动性和填充能力,尤其是在裂隙发育较为复杂的地区。这些措施能够提高灌浆效果,使其在不同发育程度的裂隙中都能实现较为均匀的充填,从而改善整体的灌浆质量。

### 4 裂隙发育对灌浆固结质量的影响

基岩裂隙的发育程度直接影响灌浆固结的质量,尤其是在裂隙发育较为复杂的岩体中,固结效果常常不理想。裂隙的开口宽度、数量、形态和连通性是影响固结质量的关键因素。在裂隙发育较为简单的区域,灌浆材料可以较为顺利地填充裂隙并与岩体发生良好的接触,从而形成较为牢固的固结层。在裂隙密集且复杂的区域,灌浆液体的流动路径变得难以预测,固结过程常常受到不同裂隙形态和结构的制约,最终导致固结质量的下降。

裂隙的开口大小对灌浆固结质量有显著影响。在开口较大的裂隙中,灌浆液体往往难以充分填充整个裂隙,尤其是裂隙深部区域,灌浆材料在大裂隙中的流动速度较快,使得液体未能在裂隙内部有效地固结。由于固结的过程中液体过快地流动,部分灌浆材料可能未能与岩石形成强有力的结合,导致灌浆固结的强度不足。相比之下,较小开口的裂隙虽然能够减缓灌浆液体的流动速度,但如果裂隙的深度较大或裂隙间连通性较差,灌浆材料也可能无法深入到裂隙的每一个部分,导致局部固结不完全。

裂隙的形态和走向同样对固结质量产生重要影响。不规则形态的裂隙常常导致灌浆液体的流动路径发生偏移,灌浆材料可能在裂隙的某些区域积聚而在其它区域难以渗透,这使得固结过程不均匀<sup>[4]</sup>。特别是斜向或交错裂隙,由于裂隙方向的不规则性,灌浆液体可能无法形成理想的固结层,影响灌浆效果的整体均匀性与稳定性。裂隙的分布和连通性也决定了灌浆液体的扩展范围。在裂隙相互贯通且数量较多的岩体中,灌浆液体往往沿着较大裂隙快速流动,导致部分裂隙未能完全充填,固结质量也因此受到影响。

除了裂隙的几何特征,岩体的物理性质对固结质量也有影响。在硬度较大的岩石中,灌浆材料难以与岩石发生较好的结合,灌浆层的固结强度较低。相反,在较软或者孔隙度较高的岩体中,灌浆材料更容易与岩石结合,固结效果较为理想。在裂隙发育复杂的情况下,选择合适的灌浆液体并调整其配方,可以有效改善灌浆固结的质量。通过提高灌浆液体的粘度,使其在流动过程中不至于过快流失,有助于灌浆液体在裂隙内部形成更牢固的固结层。灌浆工艺的优化也是提高固结质量的关键。采用不同的灌浆方式,如分段灌浆、双液灌浆等,可以帮助灌浆液体更好地适应不同裂隙的特点,确保灌浆材料能够在裂隙内充分扩展并与岩体实现良好的结合,最终形成稳定的固结层。

### 5 提高灌浆质量的关键措施与实践探讨

在裂隙发育较为复杂的区域,传统的灌浆方法往往难以保证灌浆质量,因此需要采取一系列技术措施来提高灌浆效果。针对不同类型的裂隙,应根据裂隙的大小、形态、连通性等特

点,选择合适的灌浆液体和施工技术。灌浆液体的粘度、流动性和充填性直接影响灌浆材料在裂隙中的分布和固结效果。针对裂隙较为密集或开口较大的地区,选择高粘度的灌浆液体能够有效减少流失,提高填充效果。对于裂隙发育较为复杂的区域,采用分段灌浆或双液灌浆技术能够有效改善灌浆效果。分段灌浆技术通过分多个阶段逐步注入灌浆液体,能够避免液体过快流动,确保材料在裂隙中均匀填充。而双液灌浆技术则通过两种不同性质的灌浆液体的结合,能够提高灌浆材料的流动性和粘结强度,尤其在裂隙较大或结构复杂的区域,双液灌浆能够有效填充大裂隙和深层裂隙,确保灌浆的稳定性。

在裂隙较为复杂的岩体中,灌浆液体的配方调整同样重要。通过优化灌浆液体的配方,加入合适的助剂可以提高其渗透性、稳定性和粘结性,增强其在裂隙中的扩散效果和固结能力。高渗透性和低黏度的灌浆液体适用于裂隙开口较小的区域,而高粘度液体则适合于裂隙较大的区域,能够有效减缓液体流动,确保灌浆液体在裂隙内的均匀分布<sup>[5]</sup>。灌浆施工时的注入压力控制也是影响灌浆质量的关键因素之一。通过合理控制注入压力,可以有效避免灌浆液体的过快流动,确保灌浆材料能够在裂隙内部深入渗透并充分固结。注入压力过大会导致灌浆液体的流失或未能均匀分布,而压力过低则会导致灌浆液

体无法有效进入裂隙深部,影响充填效果。因此,科学合理的注入压力控制可以确保灌浆液体与岩体之间的良好结合,提高固结强度。

采用先进的检测与监测技术也能有效提高灌浆质量。通过在灌浆过程中实时监测裂隙中的灌浆进程,可以及时发现灌浆中的问题,调整灌浆工艺。常见的监测方法包括压力传感器、流量计等设备,能够实时反馈灌浆过程中的压力和流量数据,保证灌浆过程的精确控制。提高灌浆质量需要从灌浆液体的选择、灌浆技术的创新、注入压力的控制以及实时监测等多方面入手,通过系统性地优化工艺,确保灌浆效果的稳定性和长期可靠性。

## 6 结语

基岩裂隙的发育程度对灌浆质量的影响不可忽视,尤其在复杂的裂隙环境下,灌浆效果和固结质量的提升需要依赖科学的灌浆技术与材料优化。通过调整灌浆液体的性质、创新灌浆工艺以及精准控制注入压力等手段,可以有效提高灌浆质量,确保工程的稳定性和安全性。未来,随着相关技术的不断进步,灌浆工艺将进一步得到完善,能够适应更复杂的地质条件,提升灌浆效果。

## 参考文献:

- [1] 郝新星.深基坑基岩裂隙水降排及抗浮锚杆后施工技术[J].河南建材,2025(12):87-89.
- [2] 高超.浅谈水利水电工程灌浆质量管理控制要点[J].建材发展导向,2024,22(20):7-9.
- [3] 路金.岩层地质条件对水工隧洞固结灌浆质量的影响[J].四川水利,2024,45(S2):5-9.
- [4] 龚恩德,邓祖保,音俊峰.基岩裂隙水地层抗浮锚杆设计与施工[J].安徽地质,2025,35(1):38-41.
- [5] 董华东,乔龙,刘鸡维,许杰,雷凯春.基岩裂隙水工作面的顶板疏放水研究[J].中国安全科学学报,2025,35(S1):122-129.