浅谈如何在破碎地质条件下降低锚索注浆量

张梦豪
新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司　新疆　乌鲁木齐　841700

摘　要：破碎地质岩体结构松散、裂隙空洞发育，锚索注浆施工易出现浆液大范围渗漏、超量损耗等问题，不仅增加工程成本，还会影响锚固支护质量。基于破碎岩体结构特性与锚索注浆工作原理，从地质、施工、材料、工艺四方面系统剖析注浆量超标诱因，针对性提出双液浆改性、布袋阻浆、膜袋控浆、分隔阻塞结构及分段注浆优化等多项控浆技术。通过材料改良与施工工艺升级，有效约束浆液扩散范围、减少无效损耗，切实解决破碎地层注浆失控难题，为同类锚固工程提质降耗提供实践参考。

关键词：破碎地质；锚索注浆；注浆量控制

引言：岩土锚固注浆是边坡治理、基坑支护及地下工程围岩加固的核心工艺，对提升岩体整体稳定性、控制工程变形具有关键作用。现阶段各类岩土工程施工频繁遭遇风化破碎、裂隙发育、含空洞夹层等复杂不良地层，常规锚索注浆施工工艺适配性大幅下降。传统粗放式注浆施工普遍存在浆液扩散不可控、材料浪费严重、施工成本偏高的行业痛点，且过量注浆易引发岩体二次扰动、围岩变形加剧等次生问题。为兼顾工程支护安全与施工经济效益，亟需立足破碎地层施工特性，系统梳理注浆损耗成因，探索科学可行的控浆降耗施工技术。通过优化材料配方、改良施工结构与升级注浆工艺，有效解决破碎地质锚索注浆施工难题，为岩土锚固工程精细化施工提供技术支撑。

1 破碎地质岩体特征及锚索注浆原理

破碎地质岩体区别于完整均质岩体，整体结构松散、整体性极差，岩体内部存在大量不规则贯通裂隙、空洞及软弱夹层，岩体胶结强度低、稳定性弱，受钻孔扰动后极易出现孔壁坍塌、裂隙扩张等问题。这类地层岩体孔隙分布杂乱，无固定规律，为浆液扩散、渗漏提供了大量天然通道，是锚索注浆超量、跑浆漏浆问题频发的核心地质前提。锚索注浆是岩土锚固工程的核心工序，核心原理是通过压力将浆液注入锚索孔体及周边岩体裂隙，待浆液固结硬化后，填充岩体内部空隙，将松散破碎的岩体胶结成整体结构[1]。同时固结浆液可包裹锚索体，让锚索与周边岩体形成稳固的锚固整体，有效传递岩土应力，提升边坡、基坑等工程围岩的支护稳定性。在破碎地层施工中，常规注浆模式无法限定浆液扩散范围，浆液会顺着岩体贯通裂隙持续外流，无法集中留存于锚固区域，最终造成注浆量远超设计标准，不仅增加施工成本，还会出现锚固段浆液不饱满、支护质量不达标等隐患。

2 破碎地质锚索注浆量偏大的主要影响因素

2.1 地质因素

地质条件是破碎地质中锚索注浆量偏大的根本性影响因素，直接决定了浆液的扩散范围与消耗程度。（1）岩体破碎裂隙发育。破碎地质岩体节理裂隙密集发育，裂隙网络相互贯通，注浆压力作用下浆液沿裂隙通道大量扩散流失，导致实际注浆量远超设计计算值。（2）岩体孔隙率偏大。破碎岩体松散堆积、孔隙率高，存在大量空腔与孔洞，注浆时浆液优先填充这些大空隙，所需充填浆量大幅增加，造成浆液超耗现象突出。（3）地质构造影响显著。工区受断层、褶皱等地质构造作用影响，局部岩体破碎程度加剧，构造破碎带宽度大、延伸深，注浆过程中浆液沿构造带远距离窜流，注浆量难以控制。（4）地下水作用明显。富水条件下地下水流动稀释并冲刷浆液，破坏浆液凝固过程，为保证锚固效果往往需要多次补注，进一步推高注浆总量。（5）岩性差异与风化程度不均。不同岩性软硬相间，风化程度差异大，软弱岩层吸浆能力强，硬岩裂隙面浆液易流失，不均匀的地质特性造成注浆量波动且总体偏大。

2.2 施工因素

施工工艺与操作管理水平是破碎地质锚索注浆量偏大的重要影响因素，施工各环节控制不当都会加剧浆液超耗。（1）注浆压力控制不当。注浆过程中压力设置过高或升压过快，浆液在高压作用下克服裂隙阻力向远端大范围扩散，甚至劈裂岩体形成新的渗漏通道，导致浆液大量流失、注浆量明显偏大。（2）浆液配比设计不合理。浆液水灰比偏大、稠度不足时流动性强，在破碎岩体中扩散半径过大；浆液性能与地质条件不匹配，缺乏针对性调整，造成浆液充填效率低、消耗量增加。（3）

钻孔施工质量缺陷。钻孔穿过破碎带时孔壁坍塌、超径现象普遍，钻孔实际直径远大于设计值，孔内空腔体积增大，直接导致注浆量成倍增加。（4）止浆与封孔措施不到位。止浆塞安装不牢固、封孔质量差，注浆时浆液沿孔口或孔壁间隙返浆外漏，有效注浆量减少而总耗浆量增加，注浆效果难以保证。（5）注浆工艺选择与过程控制粗放。未根据地质情况采用间歇注浆、分段注浆等工艺，单次连续注浆时间过长；注浆过程中缺乏对吸浆量的实时监测与分析，不能及时调整参数，造成浆液超注。

2.3 材料因素

破碎地质锚索注浆出现超量损耗，很大程度源于注浆材料性能与现场地层条件不匹配，常规注浆材料的缺陷会放大岩体渗漏问题。普通水泥浆液未经过改性优化，凝胶固化速度缓慢，整体流动度偏高，在裂隙密集、结构松散的破碎岩体中极易发生大范围渗透扩散。这类基础浆液抗流失能力弱，无法在锚固区域快速聚集成型，大量浆液会顺着岩体空洞与贯通裂隙流失至非支护区域[2]。同时传统浆液保稳性能不足，孔隙环境中易出现浆液离散、水分渗失等情况，固结成型效果差，难以有效封堵地层渗漏通道。由于材料缺乏速凝、增稠等改性成分，无法实现快速闭缝止浆，施工中需要反复补浆填充空隙，最终造成锚索注浆总量持续偏高，大幅增加材料损耗与施工成本。

2.4 工艺因素

破碎地质锚索注浆量超标，除地质与材料原因外，不合理的现场注浆工艺也是核心诱因。多数施工场景仍沿用传统一次性满灌注浆模式，未根据破碎岩体裂隙分布特征采取分区、分级管控手段，注浆范围无法精准约束在锚固有效区段。施工过程中注浆压力与注浆速率把控缺乏科学性，盲目采用高压快速注浆方式，极易挤压扩张岩体原有细微裂隙，衍生出新的渗流通道，促使浆液向周边岩体无序扩散[3]。同时现场普遍缺少稳压、间歇注浆的规范工序，浆液未及时固结闭缝便持续补浆，大幅提升无效浆液消耗。此外孔口封堵、注浆次序、收尾稳压等配套工艺落实不到位，孔口缝隙易出现持续性跑浆现象，粗放式的施工工艺无法适配破碎地层控浆要求，最终造成整体注浆用量大幅超出设计标准。

3 破碎地质条件下降低锚索注浆量的关键技术措施

3.1 掺加水玻璃形成双液浆控制浆液损耗

在水泥浆中掺加水玻璃形成双液浆，是破碎地质条件下控制浆液损耗、降低注浆量的有效技术手段。（1）双液浆速凝机理的优势。水玻璃与水泥浆混合后发生快速化学反应，浆液可在数十秒至几分钟内凝结硬化，早期强度增长快，能迅速封堵裂隙通道，有效阻止浆液向远处裂隙持续扩散流失。（2）合理确定双液配比参数。根据破碎岩体的裂隙发育程度、吸浆速率及地下水情况，通过现场配比试验优化水泥浆与水玻璃的体积比，一般控制在1:0.3～1:1范围内，在保证可注性的同时实现快速控散。（3）控制浆液扩散半径。双液浆凝胶时间短，注浆过程中浆液扩散范围得到有效限制，避免普通单液浆在破碎地层中远距离窜流，使浆液集中充填锚索周围关键区域，显著减少无效浆液消耗。（4）适应富水地质环境。双液浆具有较好的抗水冲刷与稀释能力，在富水破碎地层中凝结速度快、不易被地下水带走，解决了单液浆被水流冲失导致反复补注的问题，降低总注浆量。（5）动态调整注浆工艺。采用双液浆注浆时配备双液泵及混合器，根据吸浆量变化实时调整两液比例与注浆压力，吸浆量大时加快凝结、减小扩散，实现注浆过程的精细化控制。

3.2 土工布袋包裹张拉段减少漏浆

破碎地层岩体表层裂隙密集、孔壁完整性差，锚索张拉段在注浆过程中极易出现大范围跑浆、漏浆问题，造成注浆量失控、浆液利用率偏低，是制约破碎地层锚固施工质量与经济性的常见难题。在此类工况下，采用土工布袋包裹锚索张拉段的防护方式，是适配性强、施工便捷且成本低廉的高效控浆技术。该技术依托土工布袋独特的微孔构造，具备透气不透浆的优良物理性能，既能顺畅排出孔内空气，保障浆液正常固结填充，又能有效阻隔浆液向外侧松散岩体渗透扩散。实际施工中，将高强度耐磨土工布袋紧密包裹固定在锚索张拉段外侧，随锚索整体下放至钻孔指定位置，可自适应贴合凹凸不平的孔壁结构，填补表层细小裂隙与局部空洞，提前形成密闭柔性阻浆防护体系[4]。在注浆作业阶段，布袋可精准约束浆液扩散范围，将浆液牢牢限定在设计锚固区域内，从根源杜绝浆液沿孔壁裂隙向外持续渗漏流失。该施工工艺无需调整原有注浆设备与施工流程，不会改变锚索原有受力结构，能够在完全保障锚固支护性能的基础上，大幅削减非锚固区域的无效注浆损耗，有效解决破碎岩体注浆渗漏严重、材料浪费突出的施工弊端，具备良好的工程推广应用价值。

3.3 套袋法膜袋法应对大孔隙漏浆地层

套袋法与膜袋法是应对破碎地质中大孔隙、空洞等严重漏浆地层的有效技术措施，能从源头上控制浆液流失。（1）套袋法的基本原理。在锚索孔口或孔内破碎段设置高强度土工布袋、胶囊袋等包裹装置，注浆时浆液注入袋内膨胀扩张，挤压充填周围大孔隙，袋体起到

隔离与控散的双重作用，阻止浆液向大空洞无序流失。（2）膜袋法的作用机理。采用透水不透浆的膜袋材料，注浆后浆液中的水分在压力作用下透出袋外，水泥颗粒留存在袋内快速浓缩固结，形成高强度的浆液结石体，既减少浆液浪费又提高锚固段密实度。（3）适应大孔隙漏浆地层。针对溶洞、松散堆渣层、宽大裂隙等吸浆量极大的地层，套袋、膜袋将浆液约束在预定范围内，避免浆液远距离扩散，注浆量可由不可控变为可控，大幅降低超耗。（4）施工工艺要点控制。根据钻孔孔径与破碎段范围选择合适尺寸的袋体，牢固安装于锚索注浆管上并准确定位；注浆时控制压力逐步升压，观察袋体膨胀及返浆情况，确保充填饱满密实。（5）技术效果与经济优势。工程实践表明，套袋、膜袋法可使大孔隙地层的注浆量降低50%以上，一次注浆合格率显著提高，减少了反复补注的工期与材料浪费，综合经济效益明显。

3.4 分隔阻塞注浆锚索结构精准控浆

分隔阻塞注浆锚索结构是适配破碎复杂地层的精准控浆技术，通过物理分隔方式改变传统锚索全孔自由渗浆的施工弊端，从结构层面限制浆液无序扩散。该专用锚索体系搭配柔性阻塞分隔构件，可依据工程设计的锚固区间，在钻孔内部划分出独立的封闭注浆腔体，彻底隔离锚固段与张拉段及周边松散裂隙区域[5]。阻塞构件贴合孔壁形成密闭隔断层，能够有效封堵岩体浅表裂隙与孔壁空隙，杜绝注浆过程中出现浆液串层、外渗、跑漏等现象。施工过程中可针对独立腔体开展定量、定压注浆，精准匹配设计注浆体量，无需依靠过量注浆填补裂隙空洞。该结构大幅提升浆液利用效率，规避了传统工艺因边界无法约束导致的注浆超量问题，在保障锚索锚固强度与施工质量的同时，有效节约注浆材料，适配各类破碎裂隙地层施工需求。

3.5 优化注浆材料配比与分段注浆工艺

针对破碎地质注浆易渗漏、损耗量大的施工难题，通过科学调整浆液配比并结合分段注浆工艺，可从材料与工序双重维度严控注浆总量。结合现场岩体破碎程度、裂隙发育状态微调浆液水灰比，适度提升浆液稠度与整体稳定性，降低浆液初始流动渗透能力，避免稀浆在松散岩体中大范围窜流逃逸。同时根据施工需求掺入适量改性外加剂，有效缩短浆液初凝时间，增强浆液保浆、抗渗性能，让浆液可快速在锚固区域堆积固结。摒弃传统整孔一次性注浆模式，采用自上而下分段注浆、低压稳压固结的施工方式，逐段封闭裂隙通道，每段注浆完成后预留稳压时段，促使浆液充分固化封堵空隙，减少后续注浆渗漏空间。整套工艺可大幅减少无效补浆作业，在稳定锚固施工质量的基础上，显著降低整体注浆用量，适配各类破碎围岩锚索施工场景。

结语

未来岩土锚固工程将持续向着精细化、智能化与绿色降耗方向发展，破碎地质锚索注浆施工的管控体系也将不断完善升级。各类控浆技术将不再单一应用，而是实现材料改性、结构阻浆与分段注浆工艺的一体化融合，大幅提升复杂地层注浆管控精度。随着智能监测与动态调控技术的普及，施工过程可实时感知岩体吸浆变化，自动调整注浆参数，彻底改善传统施工可控性差的问题。后续新型速凝改性材料、智能阻塞锚索结构会逐步普及应用，持续压缩无效浆液损耗，在保障围岩支护安全的前提下，进一步降低工程耗材成本，推动破碎地层锚固施工技术的标准化与高效化发展。

参考文献

[1]马攀.破碎顶板掘进工作面注浆加固支护技术应用实践[J].能源与节能,2026,(1):251-254.

[2]王朋卫.注浆锚索在53081综采面超前支护中的应用[J].江西煤炭科技,2025,(1):67-70.

[3]石涛.浅埋破碎岩体隧道围岩超前加固及支护方案[J].四川水泥,2026,(8):260-265+269.

[4]吴宁.注浆锚索主动式超前支护巷道围岩变形控制技术[J].煤炭科技,2024,45(6):57-62+66.

[5]王德才.掘进巷道破碎围岩支护技术研究[J].中文科技期刊数据库（引文版）工程技术,2025,(4):140-143.