

# 松散介质注浆模拟试验研究

梁飞林<sup>1</sup>, 秦秀山<sup>2</sup>, 陈何<sup>2</sup>, 谢源<sup>2</sup>

(1. 湖南省煤业集团金竹山矿业有限公司, 湖南 娄底 417505

2. 华锡集团铜坑矿, 广西南丹 545006)

**摘要:** 通过在地表对松散介质进行模拟注浆试验, 本文考察了不同浆液配比和注浆时间对注浆扩散半径的影响。研究表明, 浆液扩散半径与注浆介质结构、注浆时间和水灰比等因素相关。该试验为探明地下注浆工艺流程提供了基础, 同时也为地下矿柱群破碎区域的注浆加固设计提供了依据。

**关键词:** 松散介质; 注浆; 模拟试验; 扩散半径

中图分类号: TD265.4 文献标识码: A 文章编号: 1671-4172(2011)01-0034-04

## Study on Grouting Simulation Experiment in Loose Medium

LIANG Feilin<sup>1</sup>, QIN Xiushan<sup>2</sup>, CHEN He<sup>2</sup>, XIE Yuan<sup>2</sup>

(1. Jinzhushan Mining Co., LTD, Loudi 417505, Hunan, China

2. Beijing General Research Institute of Mining & Metallurgy, Beijing 545006, China)

**Abstract** By the grouting simulation experiment in loose medium on the surface, the influences of different slurry ratios and grouting time upon grout diffusion radius are analyzed in this paper. It is shown that grout diffusion radius relate to the dielectric structures, grouting time and water cement ratio. The experiment provides a basis for the technological process of grouting underground, and it also provides evidence for the design of grouting reinforcement in the crushing area of underground pillar groups.

**Key words** loose medium; grouting simulation experiment; diffusion radius

## 引言

在地下工程中, 对于松散破碎围岩巷道的支护一直是个难题, 尤其是当巷道围岩破碎范围较大且比较严重时, 单纯采用锚杆支护很难有效地控制巷道围岩的变形<sup>[1-2]</sup>, 保证其稳定性。

因此需要对此类巷道进行注浆加固, 以改变围岩的松散结构, 提高围岩间的粘结力和内摩擦角, 封闭、充填围岩的裂隙, 改善围岩的力学性能, 提高岩体自身的强度<sup>[3]</sup>。松散体内注浆能为锚杆在围岩中提供可靠的着力基础, 进而使锚杆对围岩的锚固作用能够得以充分发挥<sup>[4]</sup>。

在松散体地层中注浆, 往往要求注入的浆液能形成连续、稳定的胶结体, 这时注浆孔的距离必须依据浆液的扩散半径而定<sup>[5]</sup>。如何合理确定浆液的扩散速度和扩散半径是长期以来尚未解决的技术难

## 题。

在目前的注浆设计和施工中, 注浆孔距和浆液扩散速度主要是凭借经验确定, 很可能因孔距过大或过小而出现工程质量问题或投资上的浪费<sup>[6]</sup>。浆液的扩散速度和扩散半径主要取决于介质结构参数、浆液的性质和注浆工艺参数<sup>[7-8]</sup>。

本文通过地表对松散体进行模拟注浆试验, 得出浆液的扩散速度、扩散半径及其影响因素之间的关系, 以便指导工程实践。

## 1 模型制作

1) 用木板制作两套相同的长方体形试验模型, 底部和四周封闭, 上部开口, 尺寸为 2 m × 2 m × 1.5 m。

2) 在模型底面垂直方向上每隔 200 mm 设置一个直径 20 mm 的观察孔, 共 11 个孔。

3) 需要人工将碎石块装填入试验模型, 并提前按设计位置和倾角要求预埋注浆钢管。

作者简介: 梁飞林 (1965-), 男, 工程师, 采矿工程专业, 主要从事煤矿地下开采等方面的研究。

模型的具体参数和现场照片分别如图 1 和图 2 所示。

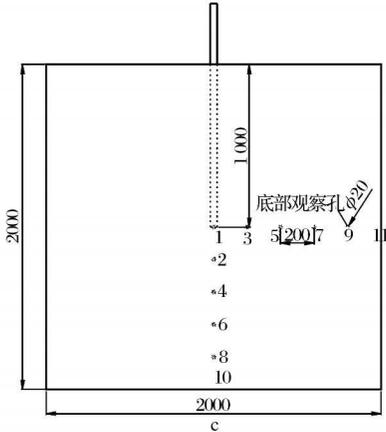


图 1 注浆试验设计图 /mm

Fig 1 The design of experimental grouting /mm

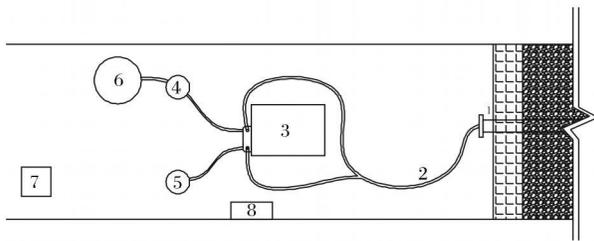


图 2 现场模型照片

Fig 2 The photograph of the field model

## 2 现场设备布置

1) 现场所需设备及布置如图 3 所示。



1- 孔口管; 2- 高压胶管; 3- 注浆泵; 4- 水泥储浆桶;  
5- 水玻璃储浆桶; 6- 水泥搅拌机; 7- 水箱; 8- 配电盘

图 3 现场设备布置图

Fig 3 The arrangement of the field devices

2) 试验场地选在地表空旷区域, 保证水、电和材料的供应。

## 3 试验步骤

1) 按设计的浆液配比搅拌好水泥浆和水玻璃浆液准备注浆。水泥浆的水灰比为 1:1, 双液注浆时水泥水玻璃体积比  $C: S = 1: 0.3 \sim 0.8$

2) 用铁丝扎好连接处, 管路按照图 3 所示顺序连接。在系统不连接试验台的情况下, 用清水对注浆系统进行测试, 确保一定压力下不爆管、不跑浆。

3) 连接管路, 开始注浆。

注浆过程开始时要先使用清水, 使之浸湿毛细裂隙, 以便使注浆半径扩大。然后再用水灰比为 1:1 的浆液注浆, 当观察孔中浆液大量出现时, 及时改用水泥-水玻璃双液注浆 (水灰比为 1:1, 水玻璃 35Be', 配比实验中确定的最佳注浆配比 1:0.3~0.8) 使水泥加速凝结, 达到既能加强破碎岩体强度又能使扩散半径控制在理想范围内的目的。

注浆过程中随时注意模型下部观察孔, 当观察孔中有浆液出现时, 记录浆液出现的时间和相应注浆量, 连续注浆并观察下一个观察孔。

4) 结束注浆, 当初期水泥浆大量出现的观察孔浆液停止出现时, 即可结束注浆。

5) 注浆结束后, 必须及时用清水冲洗注浆系统, 防止浆液凝固堵塞设备管路。

## 4 试验结果分析

### 4.1 试验观察分析

注浆时, 注浆压力由低逐渐升高, 在压力升高过程中常常出现不稳定状态。一方面是因为从注浆泵里出来的浆液虽然经过了注浆管缓冲, 但其压力仍存在一定的波动性; 另一方面是因为浆液在松散体中流动时常遇到松散岩石构成的孔隙, 而遇到松散岩石及其接触面缝隙这样交替出现导致压力来回波动。

注浆结束模型养护一周后取样观察, 可见在浆液扩散到的范围内, 浆液充填密实与松散岩石胶结良好, 如图 4 所示。在浆液胶结范围外, 松散岩石层有水浸透, 水灰比较大时更为明显, 这说明水泥浆液析水性较强。

被浆液充填胶结的结石体呈圆柱体或圆台体, 注浆压力小时胶结范围明显变小。浆液在各种情况下扩散都较均匀, 充填密实。

### 4.2 试验数据分析

本次松散体地表模拟注浆试验所得数据如表 1 所示。



图 4 注浆后结石体

Fig 4 The grouted gravel

表 1 试验数据记录表

Table1 Results of the test

观察孔序号	注浆时间 /s	观察孔序号	注浆时间 /s
1	47.82	2	70.20
3	94.56	4	114.82
5	132.06	6	166.88
7	203.62	8	407.24
9	-	10	-
11	-		

对表 1 中数据进行曲线拟合,如图 5 所示。

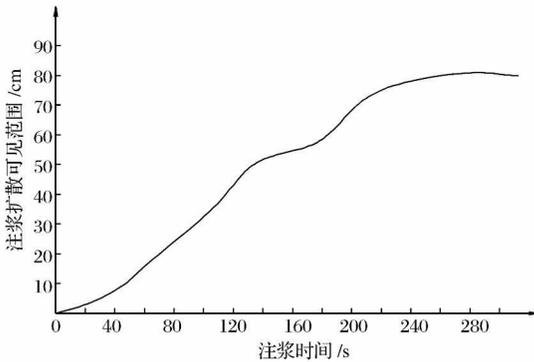


图 5 注浆扩散范围和注浆时间关系图

Fig 5 The relationship between the grouting diffusion range and the grouting time

从图 5 分析可知:注浆扩散半径随注浆时间的延长而扩大,注浆半径的扩大速度在注浆前期较快而后期较慢;注浆扩散半径与注浆时间呈非线性关系,注浆扩散半径存在极限值。

注浆浆液当水灰比小时,浆液多为非牛顿流体,浆液具有一定的抗剪强度。在浆液泵动力作用下,以一定的注浆压力注入松散岩体,当注浆影响范围内孔隙和岩体对浆液的阻力与注浆压力平衡时,浆液就停止扩散、渗透和流动,经过一段时间后,固结体才能达到强度要求。

### 4.3 作用机理分析

在松散体和裂隙极发育的节理裂隙岩体中注浆,类似于土体压密和劈裂注浆。压密注浆是通过浆液挤压相邻岩体达到加固目的,如图 6 劈裂注浆是当裂隙发育且裂隙扩展强度小于浆液的挤压流动力时,通过浆脉来挤压加固节理裂隙岩体,如图 7。

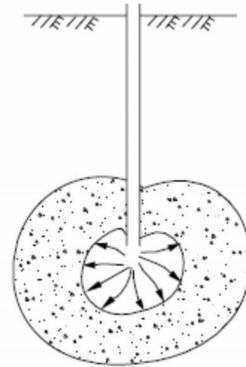


图 6 压密注浆

Fig 6 The compaction grouting

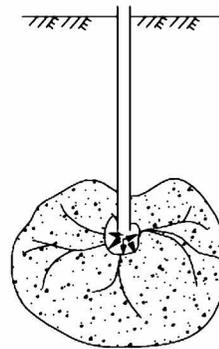


图 7 劈裂注浆

Fig 7 The fracturing grouting

1)压密充填阶段:注浆初期,浆液所具备的能量不大,注浆压力小,不能劈裂岩体,浆液聚集在注浆孔端附近,在松散岩体中形成椭球形浆液体,浆液驱动小直径松散体,随后浆液向周围按照球面扩散原理渗透并形成固结体。

2)劈裂流动阶段:随着松散岩体压密固结后,当浆液压力增大到一定程度,浆液会沿节理裂隙岩体劈裂流动,劈裂面发生在阻力最小的主应力面,此阶段的特点是注浆压力突然降低,注浆量增大。

## 5 结论

1)注浆扩散半径随着注浆压力、注浆时间、渗透系数的增大而增大,呈非线性关系。在一定的注浆压力和渗透系数条件下,注浆扩散半径存在极限值。

(下转第 40 页)

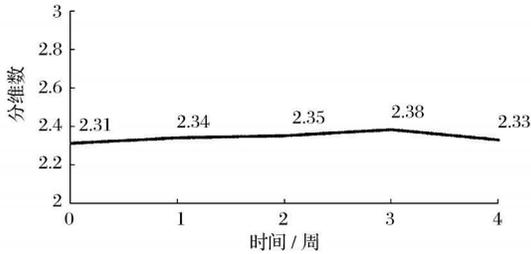


图 7 石英片岩试样分维数随浸泡时间变化曲线

Fig. 7 Fractal dimension variety with time during the quartz schist disintegration test

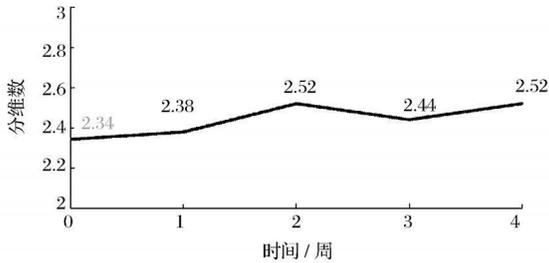


图 8 云母片岩试样分维数随浸泡时间变化曲线

Fig. 8 Fractal dimension variety with time during the mica schist disintegration test

通过应用分维数对石英片岩、云母片岩崩解过程的定量分析,可知石英片岩在整个崩解过程中分维数基本稳定在 2.3 后期较初始变化保持在 0.07 范围内,发生崩解程度极小;云母片岩分维数变化保持在 0.18 范围内,发生崩解的程度相对较深。

## 2 结语

在以往的研究中对土体及强风化岩体崩解研究

较多,此次试验对特定的两种松散岩土体进行了室内崩解试验研究,具有一定的工程应用价值。可以得到以下结论:

1)石英片岩、云母片岩在水的作用下会发生崩解,与土体崩解过程类似,即颗粒数目不断增加,颗粒整体粒径不断减小。

2)与土体崩解过程相比较,石英片岩、云母片岩崩解程度远小于土体,崩解主要来自较大粒径岩块。

3)石英片岩与云母片岩相比较,云母片岩崩解程度较深,矿山实际生产中不可将云母片岩堆排至下部,以确保回填边坡安全。

以上结论是初步的,未免存在不足,在以后的工作中还必须根据现场实际情况对该类岩土体的崩解作进一步研究、确认。

## 参 考 文 献

- [1] 颜文,周丰峻,郑明新. 长衡段软岩水理特性研究[J]. 华东交通大学学报, 2005. 4: 15-17.
- [2] 毕先梅. 地质学运用分形理论需要考虑的问题[A]. 分形理论及其应用[C]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 1993
- [3] 苏永华,赵明华,刘晓明. 软岩膨胀崩解试验及分形机理[J]. 岩土力学, 2005. 5: 728-732.
- [4] 颜波,汤连生,胡辉,等. 花岗岩风化土崩岗破坏机理分析[J]. 水文地质工程地质, 2009. 6: 68-71.
- [5] 吴秀仪,刘长武,赵凯,等. 板岩遇水崩解的分形模型研究[J]. 四川大学学报:工程科学版, 2008. 5: 33-36.
- [6] 刘晓明,赵明华,苏永华,等. 软岩崩解分形机制的数学模拟[J]. 岩土力学, 2008. 8: 2043-2046.
- [7] 苏永华,刘晓明,赵明华,等. 软岩崩解物颗粒分布特征研究[J]. 土木工程学报, 2006. 5: 102-106.

(上接第 36 页)

2)浆液在松散体中的最大扩散半径是由地层本身的结构决定的。当地层条件一定时,浆液的扩散半径主要与浆液的性质和注浆的工艺参数有关。

3)在松散体等节理裂隙极为发育的岩体中注浆,注浆过程可分为压密充填和劈裂流动两个阶段,二者在作用机理和表现形式上有所不同。

本文得出的浆液扩散半径与注浆介质结构、注浆时间、水灰比等因素的相关规律,对指导注浆工程设计和注浆效果预测等具有很重要的指导作用和现实意义。

## 参 考 文 献

- [1] 王万秋,梁志荣,史世杰,等. 大巷严重破坏段围岩加固技术研究[J]. 能源技术与管理, 2006(1): 27-28.
- [2] 蔡美峰,肖应博. 复杂岩体中加固巷道围岩变形破坏规律研

究[J]. 金属矿山, 2006. 357(3): 29-31.

- [3] 刘长武,陆士良. 水泥注浆加固对工程岩体的作用影响[J]. 中国矿业大学学报, 2000. 29(5): 455-458.
- [4] 张士林. 注浆锚杆作用机理和技术参数的研究[D]. 阜新:辽宁工程技术大学, 1999.
- [5] 程晓,张凤祥. 土建注浆施工与效果检测[M]. 上海:同济大学出版社, 1998. 1.
- [6] K M J W, CHOUGH S K. A gravel lobe deposit in the prodelta of the Dousan Fan Delta (Miocene), SE Korea[J]. Sedimentary Geology, 2000(130): 183-203.
- [7] 郝哲,王来贵,刘斌. 岩体注浆理论与应用[M]. 北京:地质出版社, 2006.
- [8] 刘晓明. 注浆技术的发展及应用[J]. 施工技术研究与运用, 2000(3): 59-60.
- [9] 樊少武. 塌陷区锚注作用耦合机理及其稳定性研究[D]. 北京科技大学硕士论文, 2005.