

然
长
2
2.
2.
特
(考
力的
浆
2.
量
次
方
计

2.
浆

2.

浆

椭圆形裂隙渗透注浆模拟试验研究

李华茂¹, 梁幸福², 黄小广³

(1. 南水北调中线干线工程建设管理局 河南直管建管部, 河南 温县 454850; 2. 黄河水电工程建设有限公司, 河南 郑州 450003; 3. 河南理工大学 土木工程学院, 河南 焦作 454003)

摘要:通过椭圆形裂隙渗透注浆模拟试验装置进行渗透注浆模拟试验,研究了裂隙宽度、注浆压力、水灰比、注浆时间对浆液扩散距离和注浆量的影响。结果表明:水灰比对浆液扩散距离和注浆量影响最大,注浆时间对浆液扩散距离和注浆量的影响最小;浆液扩散距离和注浆量与裂隙宽度、注浆压力、水灰比、注浆时间成正比,浆液扩散距离和注浆量随水灰比的增长率逐渐提高,随裂隙宽度、注浆压力、注浆时间的增长率逐渐降低。

关键词:渗透注浆; 椭圆形裂隙; 试验装置; 模拟试验; 扩散规律

中图分类号: TU452 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1000-1379.2010.04.058

注浆模拟试验是研究岩体注浆的重要手段,但目前岩体注浆模拟试验主要限于单裂隙,且裂隙宽度不变,大多没有考虑裂隙面构造的粗糙性、弯曲性等。这种裂隙模型多为固定宽度的平直细缝,即用两块平板平行放置形成缝隙来模拟岩体裂隙,与实际裂隙形状有较大差异,没有考虑裂隙宽度的变化和裂隙面局部构造等对注浆效果的影响。

实际上,天然裂隙宽度是相互交错、曲折多变的,裂隙面粗糙不平,裂隙内常常充满胶结物或充填物,局部裂隙面甚至相互接触。Louis 称这些局部接触为“岩桥”,它们将貌似连通的无限延伸的裂隙分隔开来。根据裂隙生成的力学作用,格里菲斯^[1]认为脆性岩石的裂隙是椭圆形的。椭圆形裂隙模型考虑了裂隙面构造的影响,更接近于实际情况。笔者在该岩体裂隙模型条件下,进行了渗透注浆参数关系的研究,弥补了以往裂隙模型不考虑裂隙面构造的不足^[2]。

1 试验装置

1.1 试验装置设计

试验装置由浆液输送装置、椭圆形裂隙模拟装置和计量设备3部分组成,装置布置见图1。椭圆形裂隙模拟装置是一个长方形容器,每节长1 m,由5根相同的容器连接而成,总长5 m;裂隙模拟装置由内向外依次是砂浆裂隙模块、砂浆加固层和加固钢模板;前端有进浆管、前端堵板;后端有后端堵板。

1.2 试验装置制作及组装

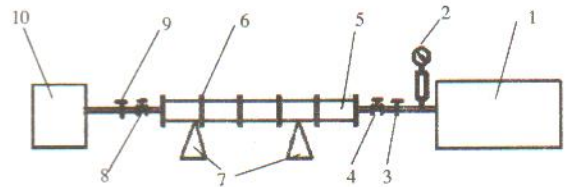
1.2.1 浆液输送装置的制作

注浆泵由3WT-4型脚踏式注浆泵改装而成。注浆泵前端接上吸浆管和集浆桶,后端接上出浆高压胶管、压力表、溢流阀、截止阀,形成输浆系统。

1.2.2 椭圆形裂隙模拟装置制作

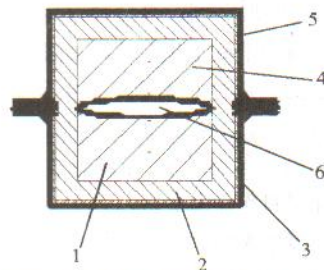
裂隙模块用特制砂浆加工而成,裂隙模块由相同的上下两个半块组成,每个半块为长方体,长1 m、宽0.1 m、高0.05 m,

其中有一个面有椭圆形凹槽,两部分凹槽对接到一起就形成一个椭圆形裂隙,见图2。椭圆形凹槽的长半轴为50 mm,短半轴根据试验需要加工成0.5 mm和1.0 mm。



1 为注浆泵;2 为进浆压力表;3 为进浆溢流阀;4 为进浆截止阀;
5 为裂隙模拟装置;6 为法兰;7 为支架;
8 为后端截止阀;9 为后端溢流阀;10 为回浆桶

图1 裂隙注浆模拟试验装置布置



1 为下部裂隙砂浆模块;2 为砂浆加固层;3 为下部加固钢模板;
4 为上部裂隙砂浆模块;5 为上部加固钢模板;6 为椭圆形裂隙

图2 岩体裂隙模拟装置剖面

砂浆裂隙模块经过一定时间的养护以后,将模具的椭圆形弧面对接,然后将其固定在加固钢模板中,再向钢模板与砂浆裂隙模块之间的空隙内填入水泥砂浆,并振荡密实,形成砂浆加固层,同时将上端面刮平。养护后,检查模拟裂隙是否通透。

收稿日期:2009-07-23

作者简介:李华茂(1972—),男,河南焦作人,工程师,硕士,主要从事水利工程建设与施工管理工作。

E-mail:778376324@qq.com

然后加装法兰密封垫,通过法兰盘将各节对接,形成一个5 m长的椭圆形裂隙模拟装置。

2 试验

2.1 试验设计

2.1.1 试验因素选择

在岩体裂隙注浆过程中,影响注浆效果的主要因素有裂隙特征(裂隙开度、粗糙度、裂隙倾角、分布密度等)、浆液性能(浆液黏度、水泥颗粒大小等)、注浆指标(注浆压力、静水压力、注浆时间等)。分析各影响因素的作用,同时考虑试验次数的合理性及试验的可行性,最终确定注浆压力 p 、裂隙开度 d 和浆液水灰比 m 为模拟试验注浆参数。

2.1.2 试验设计

由于试验费时费力,因此在不影响试验结果的情况下,尽量减少试验次数。与正交试验方法相比,均匀设计方法在试验次数较少的情况下,能够满足该试验目的,因此选择均匀设计方法^[3]。根据试验因素的个数和水平数,选用混合水平均匀设计,试验参数选取见表1。

表1 试验参数

试验序号	注浆压力 p /MPa	水灰比 m	裂隙开度 d /mm
1	0.1	1.2	1
2	0.1	1.0	2
3	0.2	0.8	1
4	0.2	0.7	2
5	0.3	0.6	1
6	0.3	1.2	2
7	0.4	1.0	1
8	0.4	0.8	2
9	0.5	0.7	1
10	0.5	0.6	2

2.2 试验结果

通过对注浆模拟装置注浆效果的观察和性能测试,得出注浆试验结果,见表2。

表2 注浆模拟试验结果

试验序号	注浆时间 t /min	浆液扩散距离 R /cm	注浆量 Q /mL
1	9	358	1 457
2	8	303	1 352
3	4	112	488
4	5	135	608
5	2	74	309
6	14	477	2 105
7	7	279	1 096
8	6	225	919
9	3	106	465
10	3	93	407

2.3 试验结果分析

浆液扩散距离和注浆量是注浆工程设计与注浆工艺流程控制的依据。在试验基础上,通过对试验数据的分析,总结出注浆试验因素对扩散距离和注浆量的影响程度,得出影响因素与扩散距离和注浆量的经验公式。试验数据的处理选用多元线性回归分析方法^[4],得到扩散距离 R 、注浆量 Q 、裂隙宽度 d 、水灰比 m 、注浆压力 p 、注浆时间 t 之间的关系如下:

$$\left. \begin{aligned} R &= 602.93d^{0.4568}m^{2.2895}p^{0.1401}t^{0.1059} \\ b_d &= 0.247 \\ b_m &= 0.8842 \\ b_p &= 0.1243 \\ b_t &= 0.0862 \\ r &= 0.94 \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} Q &= 2964.6d^{0.5224}m^{2.3266}p^{0.1151}t^{0.1094} \\ b_d &= 0.294 \\ b_m &= 0.935 \\ b_p &= 0.1062 \\ b_t &= 0.0927 \\ r &= 0.95 \end{aligned} \right\} (2)$$

其中: b_d 、 b_m 、 b_p 、 b_t 分别为浆液的扩散距离 R 和注浆量 Q 对裂隙宽度 d 、水灰比 m 、注浆压力 p 、注浆时间 t 的标准回归系数,该系数越大,所对应的因素对扩散距离 R 和注浆量 Q 的影响就越大; r 为复相关系数。

3 结 语

浆液扩散半径、注浆量都受裂隙宽度、注浆压力、水灰比、注浆时间的影响,其中水灰比对浆液扩散距离和注浆量影响最大,注浆时间对浆液扩散距离和注浆量的影响最小。浆液扩散距离和注浆量与裂隙宽度、注浆压力、水灰比、注浆时间成正比,它们都随着裂隙宽度、注浆压力、水灰比、注浆时间的增加而增大,浆液扩散距离和注浆量随水灰比的增大其增加量不断增大,而随着其他3个参数的增大其增加量逐渐减小。

参考文献:

[1] 蔡美峰. 岩石力学与工程[M]. 北京:科学出版社,2002.
 [2] 李华茂,黄小广,梁为民,等. 椭圆形裂隙中渗透注浆扩散规律的研究[J]. 河南理工大学学报:自然科学版,2008,27(5):573-576.
 [3] 杨坪. 砂卵(砾)石层模拟注浆试验及渗透机理研究[D]. 长沙:中南大学,2005.
 [4] 李云雁. 试验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

【责任编辑 吕艳梅】