

多功能注浆测试装置的研制

靖向党, 阮文军, 于波

(长春工程学院, 长春 130021)

[摘要]介绍了一种基于径向注浆扩散模型的新型注浆测试装置,该装置较好地模拟了实际注浆工艺,可进行单液压力注浆和双液压力注浆试验及循环式等多工艺注浆试验,并可同时测试防渗性、可注性、扩散性及固结体强度等指标,实现了用一台仪器进行多工艺条件下的多项指标或数据测试,具有多功能性;试验研究也证实了其可行性和实用性。

[关键词]注浆 测试装置 研制 径向扩散 多功能

[中图分类号]TU459.9 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2004)02-0085-05

0 前言

注浆(Injection Grout),又称为灌浆(Grouting),它是将一定材料配制成浆液,用压送设备将其灌入地层或缝隙内使其扩散、胶凝或固化,以达到加固地层或防渗堵漏的目的。注浆技术自19世纪初法国人首先采用以来,大致经历了原始粘土浆液注浆阶段(1802-1857年)、初级水泥浆液注浆阶段(1858-1919年)、中级化学浆液注浆阶段(1920-1969年)、现代注浆阶段(1969年以后)等4个阶段。

随着注浆材料和工艺的发展,注浆测试技术也有了长足的进步,主要集中在浆液材料的性能测试(如密度、pH值、粘度、凝胶时间、结石率、抗压和抗折强度、抗挤压强度等)和注浆后的原位试验方面。由于它们仅测试某一方面,不能综合反映浆液性能和注浆工艺,也不能模拟工程实际预测注浆效果,所以这些注浆测试技术对注浆设计和施工仅起到参考作用,并没有直接的指导意义。因此,如果能尽可能地模拟工程实际,研制能综合反映浆液性能和注浆工艺、并预测注浆效果的方法和仪器,将有重要的理论和实践意义。

在我院科研基金的资助下,笔者研究开发了一种多功能的注浆测试装置。该装置已获得国家专利(专利号:ZL 01 2 72322.3)。

1 研究目标与方案选择

1.1 研究目标确定

研制注浆测试装置的目的是通过对浆液注入的测试更有效地指导注浆设计与施工。因此,鉴于目前测试仪器(装置)存在的缺陷和实际施工的需要,所研制的测试装置的测试结果应能综合反映注浆工艺与浆液性能的实际情况,实现如下具体目标(或功能):

1)评价某种浆液在某类地层的可注性(或可灌性),用单位时间、单位压力注入试样的浆液量计量, Q_{kz} , ml/min · MPa;

2)评价某种浆液对某类地层的封堵效果,即防渗性。通过注浆前、后的压水试验,用压水渗透系数计量, K , cm/s;

3)评价某种浆液在某类地层的扩散性(或扩散范围或扩散距离),用扩散半径计量, R , mm;

4)注浆测试过程中形成强度试样,以评价某种浆液注入某类地层后的固结体强度和强度分布情况,即抗压强度 σ_c , 抗折强度 σ_b , MPa;

5)可采用单液压力注浆、双液压力注浆、循环注浆等不同的工艺方法实施注浆测试。

1.2 测试装置的测试方案选择

目前的模拟性测试多为恒定过水断面的轴向、单功能试验,而实际注浆施工是从一个柱状孔向四周径向扩散压浆的过程,且在注浆过程中过水断面不断增加,如图1所示。所以,为了更贴近实际注浆

[收稿日期]2003-04-28; **[修订日期]**2003-11-28; **[责任编辑]**陈仁俊。

[第一作者简介]靖向党(1957年-),男,1981年毕业于原中南矿冶学院(现中南大学),教授,主要从事钻探工程、岩土工程的教学、科研及管理工作。

的渗透机理,从而使测试结果更具有指导意义,选择模拟注浆的径向渗透扩散模型作为注浆测试装置的基本方案,并实现了多功能测试,如图2所示。

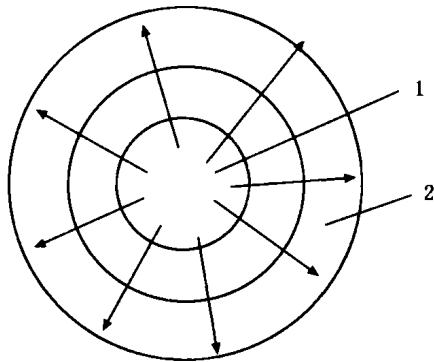


图1 浆液从孔中向四周扩散示意图

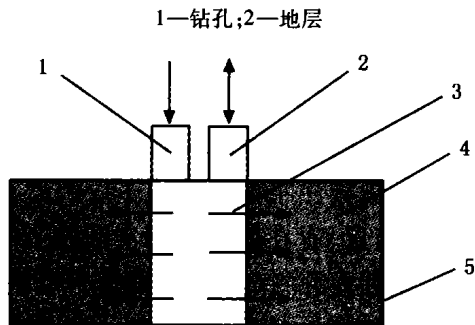


图2 注浆测试装置的基本方案示意图

1—浆液注入入口;2—浆液注入(排出)口;3—中心孔;
4—试样(被注地层);5—外套花网

2 注浆测试装总体结构的设计

考虑到该装置要实现单液和双液压力注浆、循环注浆,上部设计为带活动隔离板的双向三通顶盖。循环注浆时将活动隔离板装上,以实现浆液在孔内循环,而单液和双液注浆时应去掉。配有两个标准阀门,以实现流量调节、保压和循环注浆时调压等;为了进行浆液可注性、防渗性的测试,中心孔采用花管形式,外套采用花网形式,以利于液体的扩散、透出和计量;为了评价注浆地层的固结性能(或结石体的强度)和浆液在地层中的扩散情况,利用上下压盖与花管和花网构成一个装样腔体,其内部放置若干个花网制样盒,尺寸为40mm×40mm×160mm,腔体内和制样盒内均装满相同的砂土样。测试装置的基本结构原理见图3。

3 注浆测试装置压水试验理论

3.1 压水试验的渗流理论与渗透系数

鸠布衣根据达西的基本渗流定律研究了完整潜水钻孔和完整自流水钻孔的地下水涌水理论,依据

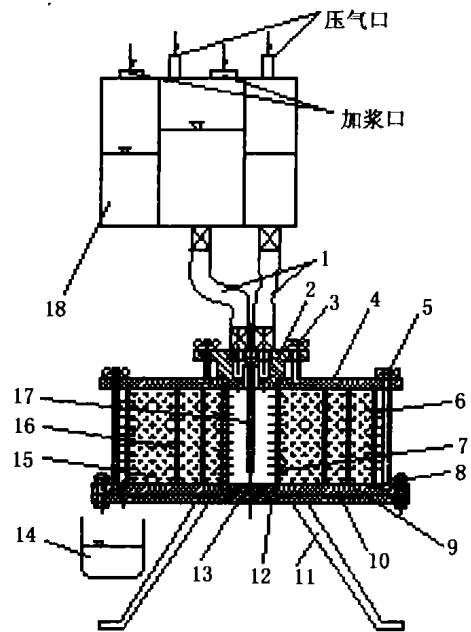


图3 注浆测试装置基本结构原理图

1—阀门与管路;2—双向三通顶盖;3—顶盖固定螺栓;4—上压盖;5—上压盖固定螺栓;6—花网;7—花管;8—底座固定螺栓;9—下压盖;10—底座;11—测试装置支腿;12—O型密封圈;13—底座封堵;14—量杯;15—试样;16—花网制样盒;17—活动隔离板;18—同心气压式双液供液箱

一定的假设条件和压水过程渗流情况,建立了地层中渗流方程:

$$K = \frac{Q \ln \frac{x_2}{x_1}}{2\pi l (S_1 - S_2)} \quad (1)$$

式中: K —渗透系数;

Q —流量;

x_1 —距钻孔轴线的距离;

x_2 —距钻孔轴线的距离;

l —透水地层厚度;

S_1 —距钻孔轴线 x_1 处的压力;

S_2 —距钻孔轴线 x_2 处的压力。

本装置的设计参数为: $l = 16\text{mm}$, $x_1 = 44\text{mm}$, $x_2 = 104\text{mm}$ 或 164mm 。

当 $x_1 = 44\text{mm}$, $x_2 = 104\text{mm}$ 时,

$$K = \frac{Q \ln \frac{x_2}{x_1}}{2\pi l (S_1 - S_2)} = \frac{0.143Q}{S_1 - S_2} \times 10^{-3} \quad (2)$$

当 $x_1 = 44\text{mm}$, $x_2 = x_3 = 164\text{mm}$ 时:

$$K = \frac{Q \ln \frac{x_3}{x_1}}{2\pi l (S_1 - S_3)} = \frac{0.218Q}{S_1 - S_3} \times 10^{-3} \quad (3)$$

式(2)、(3)中, K —渗透系数, cm/s ;

Q —压水流量, ml/min ;

S_1 —内测压管水头, cm;

S_2 —中间测压管水头, cm;

S_3 —外测压管水头, cm。

3.2 压水试验理论的验证

3.2.1 用该装置进行注浆前的压水试验

试样为 $\phi 2.0 \sim 2.5\text{mm}$ 和 $\phi 2.5 \sim 5.0\text{mm}$ 的建筑砂各占 50%。试验原理见图 4, 试验结果见表 1。

表 1 试样注浆前压水试验结果表

No	测压管水头 S_1/cm S_2/cm	静水位 H/cm	压水压力 $S = S_1 - 15/\text{cm}$	压水流量 $Q/\text{ml/min}$	渗透系数 $K/\text{cm/s}$
1	32.7 20	15	17.7	15470	1.73×10^{-1}
2	39 23.2	15	24	21810	1.96×10^{-1}
3	43 25	15	28	2760	2.18×10^{-1}

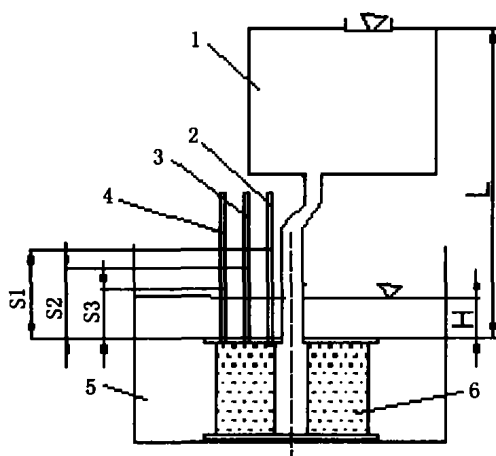


图 4 注浆装置压水试验原理图

1—供水水箱;2—内测压管;3—中间测压管;4—外测压管;
5—水箱;6—注浆装置

由试验结果作压水流量 Q 与压力 S 关系曲线, 见图 5。由图 5 可知, 通过压水试验所得到的 $Q-S$ 关

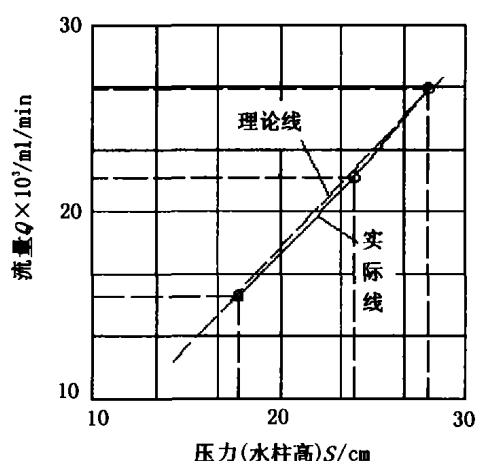


图 5 注浆前压水试验流量与压力关系曲线

系曲线(实际线)与渗流为层流时的 $Q-S$ 理论关系曲线(理论线)非常相近, 是线性关系曲线。另外, 根

据一元线性回归分析法, 求得线性相关系数为 $r = 0.9988$ 。查相关系数检验表($n-2=1$)得, $r_{0.05} = 997$ 。可见 $r = 0.9988 > r_{0.05} = 997$, 所以变量 S 与 Q 之间具有显著的线性相关性。

3.2.2 用注浆试验装置进行注浆后的压水试验

试样: $\phi 2.0 \sim 2.5\text{mm}$ 和 $\phi 2.5 \sim 5.0\text{mm}$ 的建筑砂各占 50%。

灌注浆液为纯水泥浆, 水灰比 $w/c = 0.8, 325^{\#}$ 硅酸盐水泥; 灌注量 5000ml, 灌注压力 0.05MPa。侯凝 20.5h 后进行压水, 压水结果见表 2。

表 2 试样灌注水泥浆后压水试验结果表

No	压水压力 (水柱高) S/cm	压水流量 $Q/\text{ml/min}$	渗透系数 $K/\text{cm/s}$
1	1000	65	1.42×10^{-5}
2	1500	134	1.95×10^{-5}
3	2000	173	1.89×10^{-5}
4	2500	204	1.78×10^{-5}
5	3000	248	1.80×10^{-5}

由试验结果作压水流量 Q 与压力 S 关系曲线, 见图 6。由图 6 可知, 通过压水试验所得到的 $Q-S$ 关系曲线(实际线)与渗流为层流时的 $Q-S$ 理论关系曲线(理论线)非常相近, 成线性关系曲线。同样根据一元线性回归分析法, 求得线性相关系数为 $r = 0.989$ 。查相关系数检验表($n-2=3$)得, $r_{0.05} = 0.878, r_{0.01} = 0.959$ 。由于 $r = 0.989 > r_{0.01} = 0.959$, 所以变量 S 与 Q 之间具有非常显著的线性相关性。

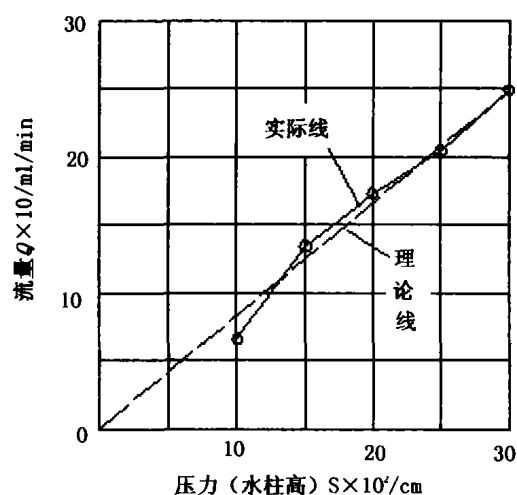


图 6 注浆后压水试验流量与压力关系曲线

综上所述, 试样在注浆前后进行压水试验时, 变量 S 与 Q 之间均具有线性关系。根据水文地质渗流理论, 水在地层中为层流状态。所以, 按上述导出的

层流计算模型式(2)、式(3)计算试样的渗透系数是可行的、正确的。

4 注浆测试装置的试验研究

4.1 试验材料

采用如下两种试样进行注浆试验,这两种试样均为建筑用砂。

样-1 $\phi 0.5 \sim 1.0\text{mm}$ 的砂占 75%, $\phi 1.0 \sim 2.0\text{mm}$ 的砂占 25%;

样-2 $\phi 2.0 \sim 2.5\text{mm}$ 的砂占 50%, $\phi 2.5 \sim 5.0\text{mm}$ 的砂占 50%。

采用如下 4 种类型的浆液进行了注浆试验:

1) 泥浆类:

泥浆-1 膨润土泥浆,粘度 $t = 54\text{s}$,比重 $\gamma = 1.15$;

泥浆-2 膨润土泥浆,粘度 $t = 56\text{s}$,比重 $\gamma = 1.06$;

泥浆-3 粘土(膨润土)—水泥浆,粘度 $t = 30\text{s}$,比重 $\gamma = 1.05$;水泥占粘土重量的 15%,水玻璃占水泥重量的 30%。

2) 水泥类:

水泥-1 纯水泥浆,水灰比 $w/c = 0.8$, 325# 硅酸盐水泥;

水泥-2 水泥-水玻璃浆,

甲液:水泥浆,水灰比 $w/c = 1.0$, 5300ml, (325# 硅酸盐水泥)

乙液:水玻璃,比重 $\gamma = 1.1 (13.2^\circ \text{Be}')$, 2800ml。

3) 丙酸盐类:

丙盐-1 丙烯酸镁,过硫酸铵, N-N 亚甲基双丙烯酰胺,三乙醇胺;胶凝时间 5 分钟。

4) 木质素类:

木素-1 木质素磺酸钠,过硫酸铵, FeCl_3 , NH_4Cl , 水玻璃;胶凝时间 40 分钟。

木素-2 甲液:木质素磺酸钠, FeCl_3 , 水玻璃, 3250ml

乙液:过硫酸铵, NH_4Cl , 2000ml。

4.2 试验结果与分析

试验结果见表 3。

由表 3 可得不同浆液和灌注工艺在样-1 中的可注性和防渗性对比图,见图 7。

表 3 测试结果

No	试 样	浆 液	防渗性 K_1/K_2 cm/s	可注性 Q_{kz} ml/MPa·min	扩散性 Rmm	固结体强度/MPa		备 注
						抗压 σ_c	抗折 σ_b	
1	样-1	泥浆-1	$3.2 \times 10^{-2}/6.8 \times 10^{-4}$	1.00×10^4	>150			循环注浆,候凝 16h
2	样-1	泥浆-2	$3.2 \times 10^{-2}/6.0 \times 10^{-4}$	2.69×10^4	>150			单液压力注浆,候凝 2h
3	样-1	泥浆-3	$3.2 \times 10^{-2}/2.3 \times 10^{-4}$	1.90×10^3	>150	0.0035(3d)		单液压力注浆,候凝 20h
4	样-1	木素-1	$3.2 \times 10^{-2}/2.6 \times 10^{-4}$	2.31×10^5	90~150	0.053(35d)		单液压力注浆,候凝 24h
5	样-1	木素-2	$3.2 \times 10^{-2}/1.3 \times 10^{-3}$	2.36×10^5	>150	0.03(6d)		双液注浆,候凝 20h
6	样-1	丙盐-1	$3.2 \times 10^{-2}/4.0 \times 10^{-4}$	5.63×10^5	>150			单液压力注浆,候凝 16h
7	样-1	水泥-1	$3.2 \times 10^{-2}/7.8 \times 10^{-3}$	1.38×10^2	≤ 20			单液压力注浆,候凝 16h
8	样-2	水泥-1	$1.6 \times 10^{-1}/1.9 \times 10^{-5}$	4.0×10^1	120~150	4.23(7d)	2.15(7d)	单液压力注浆,候凝 20.5h
9	样-2	水泥-2	$1.6 \times 10^{-1}/8.9 \times 10^{-4}$	3.10×10^4	30~93	0.368(4d)	0.55(4d)	双液注浆,候凝 26h

注: K_1 —注浆前渗透系数; K_2 —注浆后渗透系数。

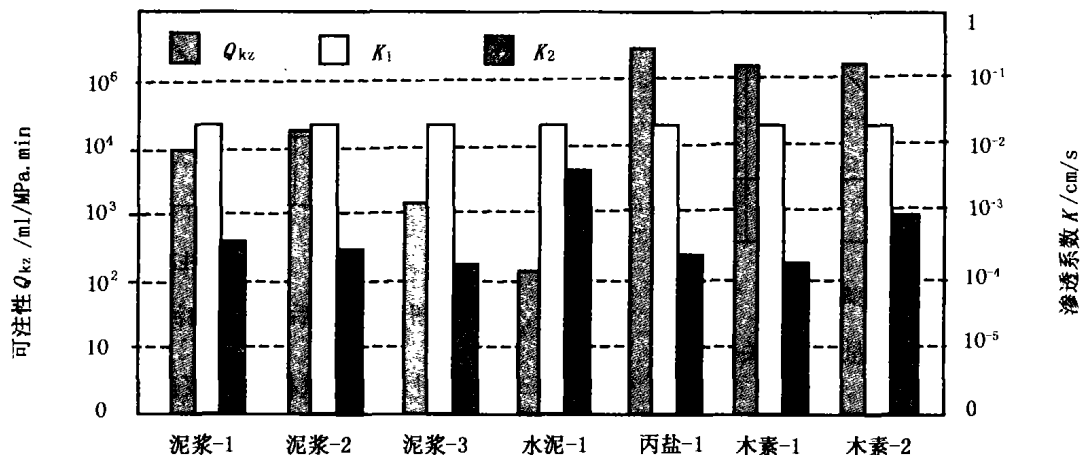


图 7 不同浆液、灌注工艺在样-1 中的可注性、防渗性对比图

由图7可知,在试样-1中,水泥、泥浆等粒状浆液的可注性明显低于分子型的化学浆液丙烯酸盐浆液和木质素浆液,这完全符合多年来实际注浆经验的总结。而且水泥浆液的可注性极低,扩散性不大于20mm,即水泥浆液在该地层属不可注浆液,但水泥-粘土浆液(泥浆-3)的可注性大于纯水泥浆,这完全与资料^[1]相吻合。

由表3还可得纯水泥浆(水泥-1)在样-1、样-2中的可注性与防渗性对比图,见图8。由图8可知,纯水泥浆在样-2中的可注性是样-1的290倍,是可注的,这也完全与资料^[1]相吻合。而且具有良好的防渗性,防渗性是样-1的410倍。

另外,测试实践证明,利用该装置完全可以进行

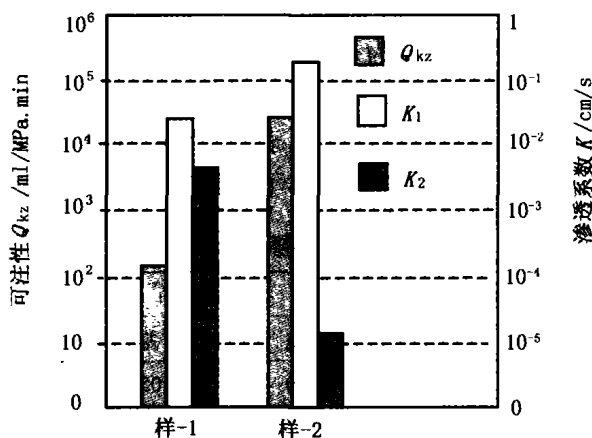


图8 水泥浆液在不同样中的可注性、防渗性对比图

单、双液压力注浆和循环注浆等不同灌注工艺的注浆测试,而且可同时进行固结体强度试样的制备,实现了测试装置可进行多工艺条件下的多项注浆参数同时测试的多功能性。

5 结论

通过试验研究,可得出如下结论:

1)将实际注浆的浆液径向扩散模型用于注浆测试仪器,不但具有模拟性,试验研究也证实了其可行性和实用性;

2)研制的注浆测试装置能够进行单液压力注浆和双液压力注浆试验及循环式等多工艺注浆试验;能够同时进行防渗性、可注性、扩散性及固结体强度等指标的测试,实现了用一台仪器进行多工艺条件下的多项指标或数据测试,具有多功能性;

3)该测试装置测试的注浆性能指标是注浆工艺与浆液性能的综合反映,如采用被注地层试样,更能真实反应注浆的实际情况,测试参数对实际注浆更具有指导意义。

[参考文献]

- [1] 《岩土注浆理论与工程实例》协作组. 岩土注浆理论与工程实例[M]. 北京:科学出版社,2001,4,1~7.
- [2] 李茂芳. 水文地质压水试验[M]. 北京:水利电力出版社,1987,6,2~13.
- [3] 胡安兵,阮文军,刘雪松. 水泥-丙烯酸盐复合浆液的试验研究[J]. 地质与勘探,2002,38(3):93~95.

DEVELOPMENT OF MULTI - FUNCTIONAL GROUTING MEASUREMENT DEVICE

JING Xiang - dang, RUAN Wen - jun, YU Bo

(Changchun Institute of Technology, Changchun 130021)

Abstract: A new type of grouting measurement device, developed on the basis of radial grouting model, is presented in this paper. Simulating actual grouting process, the device can not only carry out single shot grouting, two shot grouting and circulating grouting, but also measure such indexes as anti-seepage, groutability, diffusion range and set strength of grouted soil. The device is versatile because several properties or data of grouting under different conditions can be measured with it. Test result shows its feasibility and practicability.

Key words: measurement device, development, radial diffusion, multi - function