

柔壁渗透仪的试验研究

靖向党, 于波, 谢俊革

(长春工程学院, 吉林 长春 130021)

摘要:针对防渗浆材结石体或灌浆固结体渗透性的测试及其对污染物阻滞性能测试的需要, 研制了一种围压密封的柔壁渗透仪, 并获得国家专利。采用 S、N 和 Z 型三类浆材结石体试样, 通过在不同渗透压力、不同围压条件下的渗透系数测定, 与南-55 型变水头渗透仪的对比试验研究, 以及垃圾渗沥液的渗滤试验, 证明柔壁渗透仪对试样要求不高、密封好、测试误差 $< 1.19 \times 10^{-7}$ cm/s, 精度满足规范要求。该研究的创新点在于采用柔性乳胶膜作测试试样的侧壁, 通过气压或水压施加围压实现试样的侧壁密封, 渗透压力可在 10 ~ 1000 kPa 范围调节, 围压可在 10 ~ 1500 kPa 范围调节, 试样直径有 61.8 和 101 mm 两种规格可选, 且精度要求不高, 试样高度在 20 ~ 150 mm 范围内任意选用, 可方便地用于测试浆材结石体或灌浆固结体的渗透系数, 以及浆材结石体对污水中污染物的阻滞性能, 有助于防渗浆材的研制。

关键词:柔壁渗透仪; 浆材; 渗透性; 阻滞性

中图分类号: TU502 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2008)09-0028-04

Test Research of Permeameter with Flexible Wall/JING Xiang-dang, YU Bo, XIE Jun-ge (Changchun Institute of Technology, Changchun JiLin 130021, China)

Abstract: Based on the needs of permeability test of slurry concretion body and grouting concretion body and their block performance test to the pollutants, one kind of permeameter with flexible wall was developed which is air-proofed by all round pressure, and got the patent in China. Permeability coefficient tests were made on S, N and Z three slurry concretion body samples in different seepage pressure and different all-round pressure, the results of permeameter with flexible wall and NAN-55 permeameter were compared, and landfill leachate filtration test was also conducted. These tests proved that the permeameter with flexible wall has little requirement for slurry concretion body samples with good airproof, the error was less than 1.19×10^{-7} cm/s and the precision could be conformed to the standard. This article has selected flexible latex film for wall around the sample and made the sample air-proofed by air pressure or water pressure. Adjusting range of seepage pressure was 10 - 1000 kPa, all-round pressure was 10 - 1500 kPa. The diameter of sample could be 61.8 mm or 101 mm, and the length between 20 - 150 mm, it was convenient to test permeability coefficient of slurry concretion body, grouting concretion body, and block performance of the body to the pollutant in sewage, and helpful to develop anti-seepage slurry.

Key words: permeameter with flexible wall; slurry; permeability; block performance

0 引言

自 1802 年法国工程师查理士·贝利尼在第厄普水闸修复工程中首次采用人工锤击法灌注粘土和水硬石灰浆以来, 灌浆材料和灌浆技术不断发展^[1], 广泛用于水利工程防渗、土木工程地基加固、环保工程中垃圾填埋场防渗处理等, 而且在各种防渗工程中要求浆材结石体或灌浆后的固结体具有低的渗透系数, 如垃圾填埋场防渗要求材料渗透系数 $\geq 10^{-7}$ cm/s, 土工合成材料粘土衬垫 (geosynthetic clay liner, 简称 GCL) 防渗材料渗透系数一般为 $1 \times (10^{-10} \sim 10^{-7})$ 。因此研究开发浆材结石体、灌浆固

结体和 GCL 渗透系数的测定仪, 以及垃圾填埋场防渗浆材对污染物阻滞性能的测定十分必要。

目前, 国内常水头渗透仪主要适用于渗透系数大的无粘聚性土的渗透系数测试, 变水头渗透仪 (如南-55 型) 适用于渗透系数较小 (一般大于 10^{-8} cm/s) 的粘性土的渗透系数测试, 后者的构造是由上下盖、盛样筒、环刀、上下透水石组合而成, 当以一定的水头高度向渗透仪供水时, 水将经下透水石、环刀中的试样、上透水石流出, 根据测管水头变化和时间等, 依据达西定律求得渗透系数。但是, 该渗透仪用于测试浆材结石体渗透性时存在如下问

收稿日期: 2008-05-04

基金项目: 建设部计划项目 (编号 2007-K8-14)

作者简介: 靖向党 (1957-), 男 (汉族), 内蒙古包头人, 长春工程学院教授, 探矿工程专业, 从事钻孔工艺、注浆浆材和钻孔冲洗液的教学与研究工作, 吉林省长春市同志街 3066 号, jxd57@126.com。

题:

(1)当浆材结石体渗透系数 10^{-7} cm/s,特别是 10^{-8} cm/s 时,南-55 型渗透仪很不适用,一是测试时间长,二是由于测试时间长渗出液体蒸发导致测试不准确。

(2)把浆液预先注入环刀内制样,由于凝结中的收缩产生侧壁渗漏;把浆液先注入圆柱样筒,待凝固到一定程度后用环刀切入成样,需把握好时机和娴熟的操作,否则太硬切不进去或由于操作不当造成侧壁渗漏;所以南-55 型渗透仪不适用于防渗浆材结石体和灌浆固体渗透性试验。

(3)渗透性测试实践表明,南-55 型渗透仪测试结果与操作工艺有很大关系,同样的浆材结石体样,两台仪器同时测试的结果多数情况下存在较大差异。

(4)不适用于浆材结石体对渗沥液中污染物阻滞性能的测试。

(5)试样直径和高度不可变。

因此,本文研发柔壁渗透仪(专利号:ZL200520091576.X)的目的在于解决:(1)低渗透性防渗浆材结石体的渗透性测试问题;(2)灌浆后固体渗透系数的测试问题;(3)防渗浆材对垃圾填埋场渗沥液的防渗性能及其对污染物的阻滞效果等问题,以便促进低渗透性防渗浆材的研制和提高防渗工程的质量。

1 柔壁渗透仪的基本组成与测试原理

1.1 柔壁渗透仪基本组成

柔壁渗透仪组成原理如图 1 所示,由压力腔、测试单元(包括上下试样座、透水石、试样等)、柔性乳胶膜、可上下滑动的顶座与顶座支撑杆、滤出液导出管、围压输入管、渗滤液输入管等组成。上下试样座有 $\varnothing 61.8$ 和 101 mm 两种直径可更换,测试时按试样尺寸选择可更换式试样座和透水石的直径及柔性乳胶膜的直径。顶座可沿顶座支撑杆上下滑动,以适应不同高度的试样,一般为 20 ~ 150 mm。

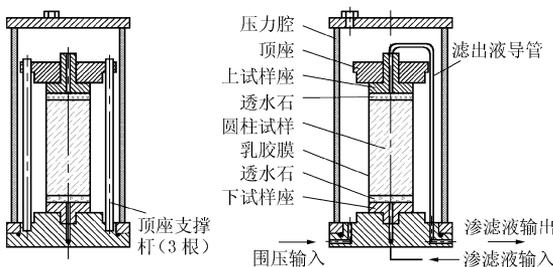


图 1 柔壁渗透仪组成原理示意图

1.2 测试原理

测试某种试样的渗透系数时,首先按图 1 组成装样,然后根据测试采用的渗透压力确定围压,一般围压比渗透压高 0.3 ~ 0.5 MPa,围压可通过水加压或直接采用气压施加,使乳胶膜紧贴试样,确保试样侧壁不渗漏。待围压稳定后施加渗透压力,当有液体渗出后开始计时 t ,并量测渗出液体的体积(Q)。根据达西定律便可计算出试样的渗透系数 K_T ,即:

$$K_T = QL / (10APt)$$

式中: K_T ——某一温度时的渗透系数,cm/s; Q ——时间 t 秒内的渗透水量,mL; L ——试样高度,cm; A ——试样断面积,cm²; P ——渗透压力,kPa; t ——渗透时间,s。

当测试某种试样对污水中污染物的阻滞性能时,按上述测定渗透系数的方法进行,而后对渗滤前后的液体样进行分析,便可得到试样对污水中污染物的阻滞性能,同时也可测得污水通过试样的渗透系数。

2 柔壁渗透仪的试验研究

2.1 影响因素的试验研究

柔壁渗透试验结果的影响因素主要有试验用水、温度、渗透压力和围压等,其中试验用水与温度对渗透系数的影响与南-55 型渗透仪一样,所以下面主要进行渗透压力与围压对渗透系数的影响研究。

采用笔者研制的 N 型、Z 型和 S 型三类浆材,采用长度 100 mm 左右、内径 60 和 95 mm 的塑料管制样,进行不同渗透压力条件下的渗透系数测试,测试结果如表 1 和图 2、3 所示。

由表 1 和图 2、3 可知,渗透压力对不同浆材结石体的渗透系数影响较小,其误差 <math>< 0.32 \times 10^{-n}</math>,符合国家土工试验方法标准渗透试验要求(不大于 2×10^{-n})[3]。

对 A-7、Z 和 S 三个样进行了不同围压条件下

表 1 不同渗透压力条件下的渗透系数测试结果表

渗透压力 /kPa	渗透系数/($\times 10^{-6}$ cm \cdot s $^{-1}$)		
	N 样(养护 7d)	Z 样(养护 7d)	S 样(养护 7d)
30	5.18		
40		7.62	0.849
70	5.12		
80		7.40	0.833
120	5.06	7.47	0.822
160	4.91	7.45	0.817
最大误差	0.27	0.22	0.032

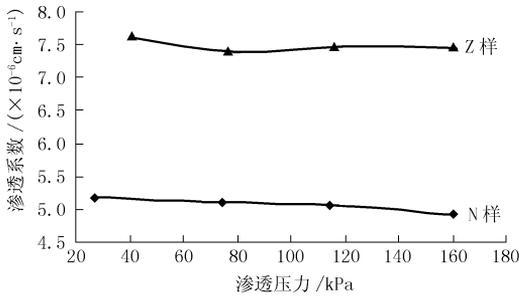


图 2 N、Z 样渗透系数与渗透压力的关系

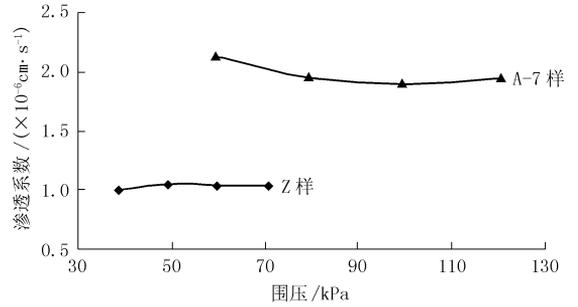


图 4 A-7、Z 样渗透系数与围压的关系

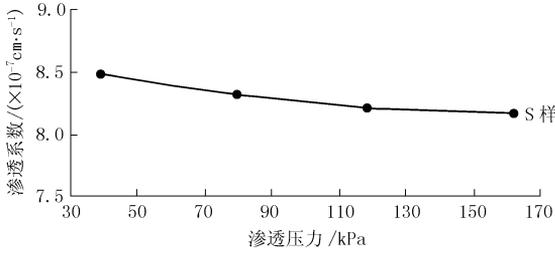


图 3 S 样渗透系数与渗透压力的关系

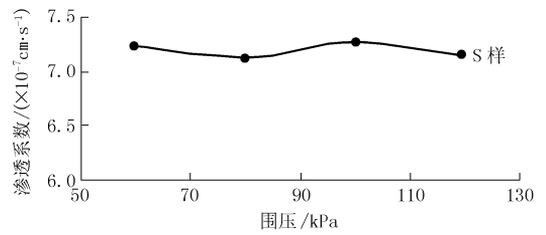


图 5 S 样渗透系数与围压的关系

的渗透系数测试,测试结果如表 2 和图 4、5 所示。

表 2 不同围压条件下的渗透系数测试结果表

围压 /kPa	渗透系数/($\times 10^{-6} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$)		
	A-7 样(养护 6d)	Z 样(养护 10d)	S 样(养护 8d)
40	1.01		
50	1.06		
60	1.03	2.13	0.724
70	1.03		
80		1.95	0.712
100		1.90	0.727
120		1.95	0.714
最大误差	0.05	0.23	0.150

由表 2 和图 4、5 可知,围压力对不同浆材结石体的渗透系数影响也较小,其误差 $< 0.23 \times 10^{-6}$,同样符合国家土工试验方法标准渗透试验要求(不大于 2×10^{-n})^[3]。

可见,提高渗透压力和施加围压对浆材结石体渗透系数影响不大,引起的变化幅度在渗透试验规范规定范围之内,所以采用施加较大渗透压的方法测试渗透系数,加快测试速度是可行的。

2.2 柔壁渗透仪与南-55 型渗透仪对比试验

选用 S 型、N 型和 Z 型三类浆材制样,在南-55 型渗透仪可测的养护时间内进行了渗透系数测试的对比试验,试验结果对比见表 3。

表 3 柔壁渗透仪与南-55 型渗透仪试验结果对比表

试样编号	养护时间 /d	南-55 渗透仪试验结果		柔壁渗透仪试验结果		两种渗透仪试验结果绝对误差/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
		$K_{20}/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	渗透水头/cm	$K_{20}/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	渗透水头/cm	
S-1	7	2.30×10^{-6}	160~190	2.39×10^{-6}	200	0.09×10^{-6}
S-2	14	7.93×10^{-7}	160~190	6.74×10^{-7}	300	1.19×10^{-7}
N-1	7	5.21×10^{-6}	160~190	5.07×10^{-6}	300~1600	0.14×10^{-6}
Z-1	9	4.89×10^{-6}	160~190	5.61×10^{-6}	200	0.72×10^{-6}
Z-2	13	2.15×10^{-6}	160~190	1.96×10^{-6}	200	0.19×10^{-6}

由表 3 可见,通过 5 种不同试样的试验,两种仪器测试结果的绝对误差最大值远小于国家土工试验方法标准中渗透试验规定的 $< 2 \times 10^{-n} \text{ cm/s}$ ^[3],所以柔壁渗透仪用于渗透试验是可行的,其精度比较高,符合规范要求。

2.3 垃圾渗沥液阻滞性的测试

利用柔壁渗透仪进行了垃圾渗沥液的渗滤试验。垃圾渗沥液取自长春三道镇垃圾卫生填埋场,

采用笔者研制的 N 型、Z 型和 S 型浆材,浆材凝固 28 天后进行渗滤试验,试验条件为:围压 150~160 kPa,渗透压 100 kPa,试样直径 60 mm,试样高 40~83 mm,试验结果见表 4。

实践证明,利用柔壁渗透仪可以方便快速地进行垃圾渗沥液在浆材结石体中的渗滤试验,通过水质分析便可得到阻滞率,从而评价浆材对污染物的阻滞性能,同时还可得到渗沥液在浆材结石体中的

表 4 浆材结石体对垃圾渗沥液阻滞性测试结果表

渗沥液成分	渗沥液 / (mg · L ⁻¹)	N 样		Z 样		S-1 样		S-2 样	
		滤出液 / (mg · L ⁻¹)	阻滞率 / %	滤出液 / (mg · L ⁻¹)	阻滞率 / %	滤出液 / (mg · L ⁻¹)	阻滞率 / %	滤出液 / (mg · L ⁻¹)	阻滞率 / %
NH ₄ - N	2007.9	3.31	99.84	149.2	92.57	7.03	99.65	279.2	86.09
TP	17.946	0.712	96.03	1.332	92.58	0.01	99.94	0.008	99.96
SS	2170	144	93.36	103	95.25	101	95.35	142	93.46
COD _{Cr}	23333.3	4125	82.32	4791.9	79.46	286.56	98.77	1321.36	94.34
BOD ₅	8700	1590	81.72	1780	79.54	174	98.00	510	94.14

注:(1)试样高:N 样和 Z 样为 83 mm,S-1 样为 73 mm,S-2 样为 40 mm;(2)阻滞率是指渗沥液与试样滤出液所含成分之差占渗沥液所含成分的百分比。

渗透系数,本试验的渗透系数为 (0.32 ~ 0.76) × 10⁻⁷ cm/s。

3 结语

(1)柔壁渗透仪采用乳胶膜围压密封,解决了环刀制样难,并易产生侧壁渗漏等问题,测试精度高,可用于防渗浆材结石体和灌浆后固结体(钻孔取样)的渗透系数测定,以及粘性土的渗透系数测定,有助于防渗浆材的研究和防渗工程质量的检测;

(2)采用水压或气压加压渗透方式,可在较大范围内选择并提高渗透压力,解决了浆材结石体等低渗透系数材料的渗透系数和阻滞性能测试问题,且加快了测试速度,提高了测试效率,可用于浆材结

石体、灌浆固结体等固体样对污水中污染物阻滞性能的测试等;

(3)试样高度和直径可有多种选择,并可根据工程需要模拟场地应力条件进行渗透试验。

参考文献:

- [1] 阮文军,王文臣,胡安兵. 新型水泥复合浆液的研制及其应用[J]. 岩土工程学报,2001,23(2):212-216.
- [2] 靖向党,于波,等. 城市垃圾填埋场粘土基防渗浆材的实验研究[J]. 水文地质工程地质,2007,34(5):94-97,101.
- [3] GB/T 50123-1999,土工试验方法标准[S].
- [4] 靖向党,阮文军,代国忠. 垃圾填埋场防渗技术的现状[J]. 长春工程学院学报(自然科学),2006,7(1):1-4.

(上接第 27 页)



图 6 浆液搅拌机



图 7 设备施工现场

4.4 单管、双管、三重管钻具

规格齐全,性能可靠。

通过近几年的发展,我厂旋喷系列产品已成功应用于各地的地铁建设、堤坝防渗加固、软地基处理、防止建筑物下沉、工程临时支护等多个领域(见图 7),得到了用户的好评,为国家建设做出了一定的贡献。

5 今后的研究方向

研发空洞自动扫描系统,将超声波传感器装在钻头上部,利用其对空洞进行扫描,并通过传感器将参数传至计算机,由计算机自动绘制出空洞立体几何图形、断面形状,并计算出所需填充材料的体积进行填充,可以得到完全固结的柱体,并可以通过复喷对空洞形状进行修整。通过此种方式施工,最大孔深可以达到 75 m 左右,桩径可以达到 4 m,桩体的强度可以得到较大提高。