

DOI: 10.11779/CJGE20210971

# 一种新型南 55 渗透仪研制及工程应用

侯龙清<sup>1</sup>, 袁晓铭<sup>2,3</sup>, 陈龙伟<sup>\*2,3</sup>, 李明东<sup>1</sup>

(1. 东华理工大学土木与建筑工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 中国地震局工程力学研究所地震工程与工程振动重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080; 3. 地震灾害防治应急管理部重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要:** 南 55 型渗透仪广泛用于测定细粒土渗透系数, 结构简单, 操作方便, 但在原状土渗透试验中, 由于环刀与试样之间密合不理想常引起侧壁渗漏, 极大影响试验结果, 甚至试验失败。为解决侧漏问题, 通过采用对开环刀结构设计, 研制了一种新型南 55 渗透仪, 利用不透水的凡士林等膏状物充填试样与环刀之间的空隙, 阻断侧漏通道, 并在整体结构上沿用了南 55 渗透仪的基本框架, 具有结构简单和操作方便的优点。同时, 对测试结果可靠性进行了试验分析, 结果表明, 新型南 55 渗透仪有效解决了侧壁渗漏问题, 测试的原状土渗透系数具有较高的精确度和稳定性, 远高于南 55 型渗透仪, 具备在实验室推广的前景。

**关键词:** 渗透仪; 侧壁渗漏; 渗透系数; 原状细粒土

中图分类号: TU43 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2023)02-0419-07

作者简介: 侯龙清(1967—), 男, 硕士, 副教授, 主要从事地质灾害和岩土工程实验等方面的教学和科研工作。E-mail: lqhou8761@126.com。

## Development and engineering application of a new type of Nan-55 permeameter

HOU Longqing<sup>1</sup>, YUAN Xiaoming<sup>2,3</sup>, CHEN Longwei<sup>2,3</sup>, LI Mingdong<sup>1</sup>

(1. School of Civil and Architectural Engineering, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 2. Key Laboratory of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Heilongjiang 150080, China; 3. Key Laboratory of Earthquake Disaster Mitigation, Ministry of Emergency Management, Heilongjiang 150080, China)

**Abstract:** The Nan-55 permeameter is widely adopted to determine the coefficient of permeability for fine-grained soils because of its simple structure and easy operation. However, for the permeability tests on undisturbed soil samples, the poor contact between the soil samples and the ring cutter may result in leakage of sidewalls and wrong test results. A new type of Nan-55 permeameter with split ring-cutter structure is developed in order to solve the leakage problem of sidewalls. The side leakage channel between the samples and the ring cutter is blocked by the paste such as Vaseline. What is more, the new-type Nan-55 permeameter has advantages of simple structure and easy operation by adopting the basic structure of the Nan-55 permeameter. At the same time, the reliability of the permeability test results is analyzed, and it is shown that the new-type Nan-55 permeameter effectively overcomes the leakage problem of sidewalls. The coefficient of permeability for the undisturbed fine-grained soils measured by the new-type Nan-55 permeameter has a high accuracy and stability, which are much higher than those measured by the Nan-55 permeameter. The new type Nan-55 permeameter has the prospect to be popularized in the laboratory.

**Key words:** permeameter; sidewall leakage; coefficient of permeability; undisturbed fine-grained soil

## 0 引言

渗透系数是地下建筑和水利工程等设计和施工的重要参数, 有一些经验估算方法<sup>[1-2]</sup>, 但工程设计中主要依靠渗透试验确定。不同性质的土层采用的渗透试验方法不同, 其中, 细粒土是通过取样进行室内变水头渗透试验, 整个试验装置由渗透容器、水头量测系统和供水系统 3 部分组成, 渗透容器采用南 55 型渗透仪。该仪器结构简单, 操作方便, 有严密止水系统,

在环刀与套筒之间、套筒与底座和上盖之间均有止水垫圈, 渗透水流只能从环刀内渗流, 属基本定型的渗透仪, 为实验室普遍采用<sup>[3-4]</sup>。

对原状细粒土, 南 55 型渗透仪需要用刚性环刀切

基金项目: 国家自然科学基金项目(51869001); 中国地震局工程力学研究所基本科研业务费专项项目(2020B01); 江西省交通运输厅科技项目(2014Y0011)

收稿日期: 2021-08-22

\*通信作者(E-mail: chenlw@iem.ac.cn)

取试样方可进行渗透试验, 实际操作发现, 切样操作使试样与环刀壁密合不理想, 容易出现空隙, 存在侧壁渗漏问题, 极大影响试验结果准确性和应用前景<sup>[5]</sup>。侧壁渗漏问题几十年来一直困扰实验人员, 至今未能得到很好解决。从近年来的研究看, 主要有两种解决方法: 一种是以柔壁渗透仪为代表的用乳胶膜包裹试样, 利用围压使乳胶膜紧贴试样达到消除侧壁渗漏的目的。如靖向党等<sup>[6]</sup>研制的柔壁渗透仪, 殷建华等<sup>[7]</sup>研制的用于非饱和土体体积变化连续测量的新双室三轴仪, 徐永福等<sup>[8]</sup>研制的能测量应力状态对非饱和土渗透系数影响的渗透试验装置, 田堪良等<sup>[9]</sup>研制的能测量渗透变形特性的渗透仪, 蒋玉坤等<sup>[10]</sup>改进的测定深部黏土渗透系数的三轴渗透仪, 殷昆亭等<sup>[11]</sup>、张禾等<sup>[12]</sup>研制的水泥土渗透仪等。另一种是在环刀或试样桶内壁涂抹膨润土膏等来消除侧漏, 如刘滔等<sup>[14]</sup>研制的测试土工合成材料黏土垫垂直渗透系数的试验装置。研究表明, 前一种方法较好解决了侧壁渗漏问题, 试验结果准确度较高, 但需要一套围压装置, 仪器复杂, 操作繁琐, 推广应用困难; 而后一种方法, 土膏难以将试样侧壁空隙完全充填, 效果不理想。

为了在基本保留南 55 型渗透仪优点的基础上解决侧漏问题, 笔者开展了新型南 55 渗透仪的研制, 期望能达到以下基本要求: ①无侧壁渗漏; ②具备南 55 型渗透仪结构简单、原理清晰和操作方便的优点; ③试验结果可靠和稳定, 人为因素影响小; ④试验装置具有独立性, 易于加工和安装拆卸, 有利于在实验室推广应用。

本文研制的新型南 55 渗透仪, 结构上采用对开环刀设计, 通过对开环刀包夹试样的方式, 将试样与环刀壁之间的空隙完全用不透水的凡士林等膏状物充填, 阻断侧漏通道, 解决侧漏问题, 仪器结构保留了南 55 型渗透仪基本框架, 具备在实验室广泛推广的基本条件。

## 1 渗透仪的组成和结构

新型南 55 渗透仪在设计中沿用了南 55 型渗透仪的基本结构框架, 主要由对开环刀、套筒、底座、上盖和透水板等组成(如图 1), 其中对开环刀和套筒是关键部件, 进行了重新设计。该渗透仪主要用于原状土的渗透试验, 需要用切土盘或切土器切取试样。

### 1.1 对开环刀

南 55 型渗透仪存在侧漏的原因是用环刀切取试样时, 试样侧壁会不可避免地形成一定空隙, 所以, 设法用凡士林等不透水膏状物充填空隙就可解决渗漏问题。本文设计了一种对开环刀, 通过用对开环刀包

夹试样的方法将凡士林等膏状物充填在试样侧壁空隙中, 阻断渗漏通道。

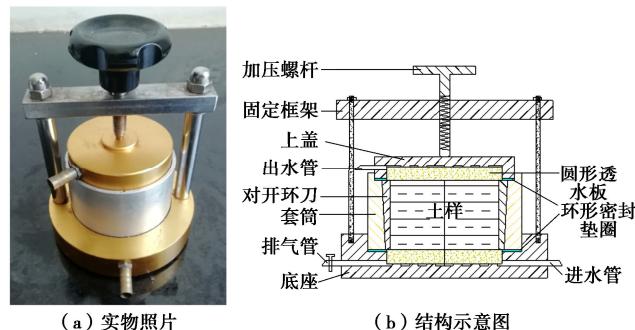


图 1 新型南 55 渗透仪结构图

Fig. 1 Structural diagram of new-type Nan-55 permeameter

如图 2 所示, 对开环刀由两个半圆环刀组合而成, 组合面有密封胶条和固定销, 无刃口, 内壁为圆柱面, 外壁为圆锥面, 其内径和高度由试样大小确定, 如本文采用的试样为直径 61.8 mm 高 40 mm(为南 55 渗透仪试验试样尺寸), 相对开环刀设计为高 40 mm, 内径 61.9 mm(较试样直径大 0.1 mm, 防止环刀挤压试样)。对开环刀壁厚较大, 平均 3.0~5.0 mm, 大于一般环刀(约 1.7 mm), 顶面受压时其变形可忽略不计。

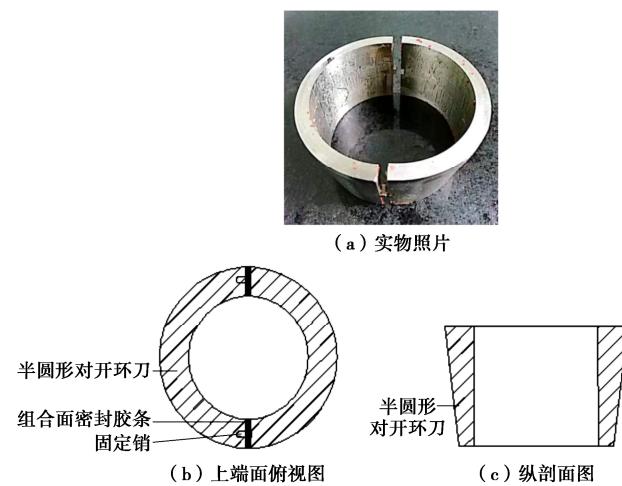


图 2 对开环刀结构

Fig. 2 Structure of split ring cutter

### 1.2 套筒设计

试验时, 对开环刀需嵌入套筒内, 所以, 套筒内壁设计为与对开环刀外壁相同的圆锥面(见图 3), 对开环刀顶面受上盖的下压作用, 组合面即能紧密接触密封并固定在套筒内(如图 4)。从力学角度考虑, 圆锥面约束设计可确保对开环刀组合面始终处于密封状态。套筒顶面高出对开环刀, 便于放置止水垫圈和上盖。

底座、上盖和加压框架的结构与南 55 型渗透仪相

同(图5), 水头量测和供水装置保持不变。

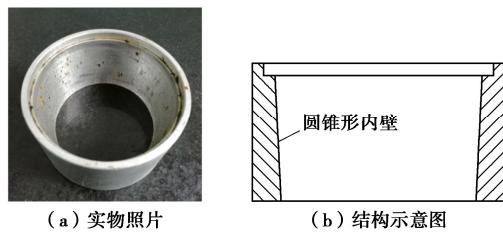


图3 套筒结构图

Fig. 3 Structural diagram of sleeve

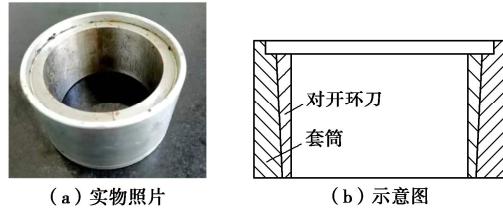


图4 对开环刀嵌入套筒

Fig. 4 Sleeve with split ring cutter

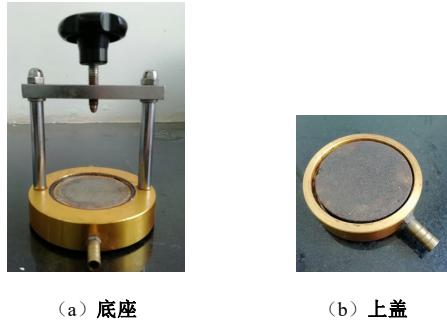


图5 新型渗透仪底座和上盖

Fig. 5 Pedestal and cover of new-type Nan-55 permeameter

渗透仪整体结构特征是, 将一个完整的环刀设计为由两个半圆形圆环组成的对开环刀, 对开环刀合拢放入套筒, 置于底座, 上盖直接压在环刀顶面, 在套筒圆锥面内壁约束下, 对开环刀完全合拢构成一个完整不透水的环刀。消除侧漏的原理是, 对开环刀内壁事先涂有薄层凡士林等膏状物, 包夹试样放入套筒, 环刀在顶面受压后不断合拢, 内壁的凡士林等膏状物就将试样和环刀之间空隙完全充填, 侧漏通道被阻断。

新型南 55 渗透仪的止水密封特征表现在两方面, 首先, 整个渗透仪止水严格: ①对开环刀组合面有密封胶条; ②对开环刀与套筒之间、套筒与底座和上盖之间均有密封垫圈。其次, 对开环刀与试样之间有凡士林等不透水膏状物充填, 无渗漏发生。可见, 渗透水流进入底座即对开环刀底面后, 只能沿试样从下往上渗流, 这就从仪器结构上保证了渗透试验的真实性, 为获得准确的试验结果提供了基础。

从新型南 55 渗透仪的整体结构来看, 具备结构简单、渗透原理清晰和易于加工的基本优点, 同时, 止

水严密, 并采用不透水膏状物充填的方法解决了侧漏问题。

## 2 试验方法

新型南 55 渗透仪主要用于变水头细粒土室内渗透试验, 测定原状土样渗透系数, 主要操作步骤包括渗透仪密封性能检查、切样、试样包夹、套筒安装、手轮加压固定和试验记录等, 与南 55 型渗透仪法大体相同, 不同之处在于以下 3 个方面。

(1) 切样饱和。用切土盘或切土器切取原状圆柱形试样, 高度与对开环刀相同, 直径比环刀内径小 0.1~0.2 mm。按《土工试验规程: SL237—1999》要求进行真空抽气饱和。

(2) 试样包夹。调制膏状物, 如凡士林、膨润土膏、黏土膏或黄油等, 用刮片均匀涂抹在对开环刀内壁, 厚 0.15~0.20 mm(约 2~3 张 A4 打印纸的厚度)

(如图 6)。为防止试样上下面黏附凡士林等膏状物, 影响渗透面积, 在试样上下面放置滤纸或蜡纸, 置于井字架上(见图 7), 架空试样, 便于多余膏状物从试样底部挤出。用对开环刀从两侧包夹试样(见图 8 (a)), 随着环刀的合拢, 多余膏状物从试样周边挤出, 小心刮除(见图 8 (b))。



图6 涂有凡士林的环刀

Fig. 6 Split ring cutter with vaseline



图7 试样放置于井字架上

Fig. 7 Soil sample on a lattice



(a) 包夹试样

(b) 多余凡士林被挤出

图8 对开环刀包夹试样

Fig. 8 Covering soil sample with split ring cutter

(3) 套筒安装与固定。环刀和试样一起放入套筒,

挤压环刀顶面, 环刀进一步合拢, 再一次刮除挤出的膏状物, 更换新滤纸, 放入底座(见图9)。放置止水垫圈和上盖, 用加压螺杆下压上盖, 上盖下压对开环刀顶面, 安装完毕。如果使用凡士林为膏状充填物, 对开环刀包夹试样后宜侧立放入套筒, 防止试样滑动。



(a) 试样和对开环刀嵌入套筒



(b) 外套筒嵌入底座

图 9 套筒安装

Fig. 9 Installation of sleeve

试验数据量测和试验成果整理同南 55 型渗透仪。

### 3 工程应用

江西抚河整治 I 期和 II 期工程场地位于抚河一级阶地, 为测试场地粉土地层渗透系数, 采用新型南 55 渗透仪进行了变水头渗透试验, 同时采用柔壁渗透仪和南 55 型渗透仪进行对比试验, 分析新型南 55 渗透仪试验结果的可靠性和对原南 55 型渗透仪试验结果的改进步度。

#### 3.1 试验结果可靠性分析

试验土层位于抚河整治 I 期工程, 用薄壁取样筒以静压方式在深 1.0~2.0 m 的探坑内取原状土样 14 组, 土样性质均匀, 物理性质指标见表 1。土样随机分为两组, 每组 7 个, 用切土盘切成  $\phi 61.8 \times 40$  mm 和  $\phi 39.1 \times 80$  mm 两种规格的圆柱形试样, 真空抽气饱和后分别用于新型南-55 渗透仪和柔壁渗透仪进行变水头渗透试验。试验在冬季室温 15~20℃ 条件下进行, 试验水头高度控制在 2.3 m 以下, 新型南 55 型渗透仪用凡士林作为空隙充填物, 柔壁渗透试验围压为 40 kPa, 高出渗透压力 15~25 kPa, 每个试样均按规定进行 5~6 次不同水头渗透试验, 取其算术平均值为试样渗透系数, 具体见表 2, 特征参数见表 3。

表 1 土样主要物理指标

Table 1 Main physical indexes of soil samples

土样	饱和密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	饱和含水率/ %	相对质量密度	塑限/%	液限/%	塑性指数
粉土	1.98	23.8	2.68	19.4	29.2	9.8

表 2 两种渗透仪试验结果比较

Table 2 Comparison of test results by two permeameters

试样序号	新型南 55 型渗透仪		柔壁渗透仪	
	$k_i/(10^{-5} \text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	$X_m/\%$	$k_i/(10^{-5} \text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	$X_m/\%$
1	6.32	-2.47	7.25	+4.92
2	7.22	+11.42	6.10	-11.72
3	6.01	-7.15	7.33	+6.08
4	6.89	+6.17	7.58	+9.70
5	6.27	-3.28	6.08	-12.10
6	5.98	-7.72	7.12	+3.04
7	6.71	+3.55	6.89	-0.24

注:  $X_m\%$  为平均百分数,  $X_m\% = 100(k_i - k_m)/k_m$ ,  $k_i$ ,  $k_m$  分别为渗透系数试验值和平均值。

表 3 渗透系数特征参数

Table 3 Characteristics of coefficient of permeability

渗透仪类型	均值	均方差	变异
	$K_m/(10^{-5} \text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	$S/(10^{-5} \text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	系数 $\delta$
新型南-55 型渗透仪	6.48	0.46	0.072
柔壁渗透仪	6.91	0.58	0.084

表 2 和表 3 可以看出: ①两种渗透仪测试的渗透系数值相差很小, 平均值仅相差 6.2%, 表明新型南 55 型渗透仪的测试结果可靠, 具有与柔壁渗透仪基本相同的准确度。②新型南 55 渗透仪测试的 7 个试样的渗透系数最大与最小的差值为  $1.24 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ , 远小于相关规程规定的  $2.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ 。落在平均值的 92.3%~111.4%, 离散性小, 稳定性较好。③新型南 55 渗透仪试验结果的均方差和变异系数均较小, 与柔壁渗透仪法接近, 进一步说明, 新型南 55 渗透仪法的试验结果具有较高的精确度和稳定性。

#### 3.2 对原南 55 型渗透仪试验结果的改进效果

实践证明, 南 55 型渗透仪试验误差是由环刀与试样之间接触不紧密引起的, 这是原状土渗透试验无法避免的, 而对重塑土, 在环刀内锤击制样, 试样与环刀壁紧密接触, 侧漏影响很小, 试验结果可靠。下面分别从原状土和重塑土两方面来分析新型南 55 型渗透仪对试验结果的改善程度。

对原状土, 在抚河整治 II 期工程场地用静压法在探坑内采取原状粉土试样。南 55 型渗透仪试验试样用如图 10 所示自制切土架切取, 即在渗透环刀顶面套一个高 2 cm 内径略大于环刀的套环, 通过切土架竖直均匀下压环刀进行切样, 避免手压用力不均。两种渗透仪进行的变水头渗透试验结果见表 4。

表 4 测试结果显示, 对原状土, 新型南 55 型渗透仪测试结果相比小很多, 平均值是南 55 型渗透仪的 0.27 倍。说明, 相比南 55 型渗透仪, 其准确度有了成倍提高, 这是由于侧漏通道被阻断, 消除侧漏的结果。



图 10 自制切土架

Fig. 10 Self-manufactured cutting soil frame

表 4 原状土试样渗透系数值

Table 4 Coefficients of permeability of natural soil samples

单位:  $(10^{-5} \text{cm/s})$ 

序号	1	2	3	4	5	6	7	均值
原南 55 型	13.0	11.7	12.1	12.8	10.4	10.0	14.3	12.0
新南 55 型	2.61	2.88	3.01	2.81	4.20	3.65	3.90	3.29

对重塑土, 为制备性质均匀的试样, 将试样过 2 mm 筛后调制成可塑状并搓揉均匀, 分别用环刀和三瓣击样器通过锤击制样, 分别用于原南 55 型渗透仪和新型南 55 型渗透仪进行变水头渗透试验。总共用 3 种不同性质土样制备了密实度不同的 7 组试样, 试验结果如表 5。

表 5 重塑土试样渗透系数值

Table 5 Coefficients of permeability of remoulded soil samples

序号	土名	原南 55 渗透仪①/ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	新型南 55 渗透仪②/ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	相对误差/ %
1	粉土 1-1	$1.04 \times 10^{-5}$	$1.15 \times 10^{-5}$	+10.57
2	粉土 1-2	$9.62 \times 10^{-6}$	$1.04 \times 10^{-5}$	+8.00
3	粉土 1-3	$1.48 \times 10^{-6}$	$1.58 \times 10^{-6}$	+6.76
4	粉土 1-4	$2.89 \times 10^{-6}$	$3.03 \times 10^{-6}$	+3.82
5	黏土 1-1	$4.33 \times 10^{-7}$	$4.94 \times 10^{-7}$	+14.08
6	黏土 1-2	$2.04 \times 10^{-7}$	$2.18 \times 10^{-7}$	+6.25
7	黏土 2	$1.60 \times 10^{-6}$	$1.70 \times 10^{-6}$	+6.86

表 5 数据显示, 对重塑土, 两种渗透仪的试验结果有所不同, 但差异很小, 相对误差在 3.82%~14.08% 之间, 平均 8.08%, 说明, 相比南 55 型渗透仪, 新型南 55 渗透仪的精确度并没有明显提高和改进。这种现象容易理解, 因为两种渗透仪均没有明显的侧漏现象, 试验结果均能真实反映土样的渗透性。这也从另一方面验证了新型南 55 渗透仪的试验结果是准确可靠的。

综合上述, 工程应用的对比试验结果说明, 采用对开环刀结构设计的新型南 55 渗透仪有效实现了用凡士林充填环刀与试样之间空隙从而解决侧壁渗漏问题的目的, 试验结果可靠, 稳定性较好, 相比南 55

渗透仪, 极大提高了原状土试样渗透系数测试的准确度和稳定性。

#### 4 应注意的问题

##### (1) 凡士林对试样的挤压作用

凡士林在常温下为膏状物, 不溶于水, 不渗入土样, 价格便宜, 是较理想的充填物, 同时, 其抗压强度小, 对试样挤压作用小。室温 18°C 时试验测得凡士林无侧限抗压强度为 1.0 kPa, 相当于固结试验中为保证压缩仪各部件接触良好施加在土样上的压力, 所以, 对中密以上的粉土和可塑以上的黏性土等试样的侧向挤压作用可以忽略, 对砂土、密实度较低的粉土和软塑黏土会产生一定影响, 谨慎使用。

##### (2) 最大渗透压力

凡士林是较好的充填物, 但抗剪强度很小, 过大渗透压力可以将其从试样侧壁挤出, 引起侧漏。为测试凡士林所能承受的最大渗透压力, 制备了两个水泥土试样进行不同渗透压力下的压力渗透试验, 在 19°C 室温条件下得到渗透系数与渗透压力的关系曲线如图 11 所示。

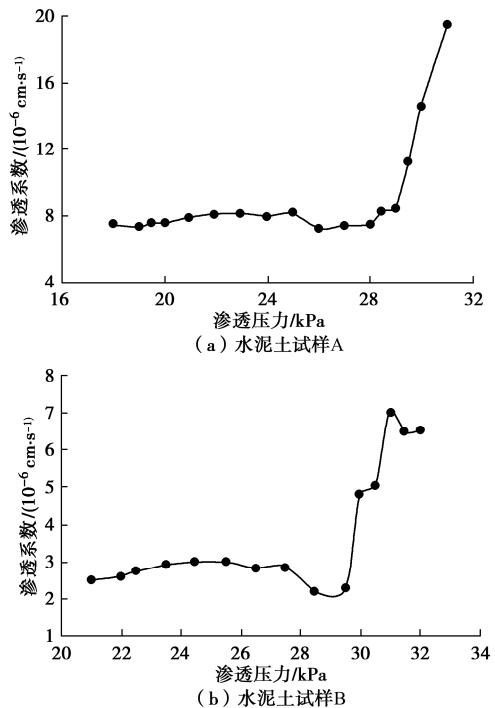


图 11 水泥土渗透系数与渗透压力关系曲线

Fig. 11 Relationship between coefficient of permeability and seepage pressure of cement soil

试验结果表明, 凡士林作为充填物能承受的最大渗透压力为 29.5 kPa, 这是进行变水头渗透试验时允许的最大水头差。若需要进行压力渗透试验可根据试样软硬状态选用抗剪强度较大的充填物, 如黄油加水泥混合物等<sup>[15]</sup>。

## 5 结 论。

针对南 55 型渗透仪法在测定细粒土渗透系数时存在的侧漏问题, 本文研制了一种新型南 55 渗透仪, 采用对开环刀结构设计, 通过充填空隙的方式很好解决了侧壁渗漏问题, 极大提高了试验准确度和精确度。该仪器设计已申请并授权了国家专利(公开号 CN 20550664)。

(1) 新型南 55 渗透仪采用对开环刀结构设计, 在对开环刀内壁涂抹薄层凡士林等膏状物, 从两侧包夹试样, 将凡士林密实充填在试样与环刀壁之间, 阻断侧漏通道, 解决了侧壁渗漏问题。

(2) 新型南 55 渗透仪沿用了南 55 型渗透仪基本框架, 主要由对开环刀、套筒、底座、加压框架、上盖和透水板组成, 整体结构简单, 原理清晰, 易于加工。

(3) 在操作步骤上, 简单方便, 易掌握。除增加了切样和用对开环刀包夹试样的操作外, 其他与南 55 型渗透仪相同。

(4) 工程应用结果表明, 相比于南 55 型渗透仪, 新型南 55 渗透仪极大改善了原状土渗透系数的测试结果, 并具有与柔壁渗透仪几乎相同的准确度和稳定性, 结果可靠, 受实验人员操作影响小。

新型南 55 渗透仪解决了侧壁渗漏问题, 极大提高了试验结果准确度, 同时结构简单、操作方便易学, 具备在实验室广泛推广的价值和应用前景。

## 参 考 文 献:

- [1] 包孟碟, 朱俊高, 吴二鲁, 等. 基于级配方程的粗粒土渗透系数经验公式及其验证[J]. 岩土工程学报, 2020, **42**(8): 1571-1576. (BAO Mengdie, ZHU Jungao, WU Erlu, et al. Empirical formula for permeability coefficient of coarse grained soil based on gradation equation and its verification[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2020, **42**(8): 1571-1576. (in Chinese))
- [2] 叶为民, 钱丽鑫, 白 云, 等. 由土 - 水特征曲线预测上海非饱和软土渗透系数[J]. 岩土工程学报, 2005, **27**(11): 1262-1265. (YE Weimin, QIAN Lixin, BAI Yun, et al. Predicting coefficient of permeability from soil-water characteristic curve for Shanghai soft soil[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, **27**(11): 1262-1265. (in Chinese))
- [3] 土工试验方法标准: GB/T 50123—1999[S]. 北京: 中国计划出版社, 1999. (Ministry of Construction of the People's Republic of China. Standard for Soil Test Method: GB/T 50123—1999[S]. Beijing: China Planning Press, 1999. (in Chinese))
- [4] 土工试验规程: SL237—1999[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999. (Specification of Soil Test: SL237—1999[S]. Beijing: China Water Power Press. (in Chinese))
- [5] 王锤琦, 孙广忠, 刘双光. 岩土工程测试技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986. (WANG Chuiqi, SUN Guangzhong, LIU Shuangguang. Geotechnical Engineering Test and Measurement Techniques[M]. Beijing: China Building Industry Press, 1986. (in Chinese))
- [6] 靖向党, 于 波, 刘自放, 等. 柔壁渗透仪的研制[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2010, **11**(3): 19-23. (JING Xiangdang, YU Bo, LIU Zifang, et al. Research and development of flexible wall permeameter[J]. Journal of Changchun Institute of Technology (Natural Sciences Edition), 2010, **11**(3): 19-23. (in Chinese))
- [7] 殷建华. 新双室三轴仪用于非饱和土体积变化的连续测量和三轴压缩试验[J]. 岩土工程学报, 2002, **24**(5): 552-555. (YIN Jianhua. A new double cell triaxial system for continuous measurement of volume changes of an unsaturated or saturated soil specimen in triaxial test[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, **24**(5): 552-555. (in Chinese))
- [8] 徐永福, 兰守奇, 孙德安, 等. 一种能测量应力状态对非饱和土渗透系数影响的新型试验装置[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, **24**(1): 160-164. (XU Yongfu, LAN Shouqi, SUN Dean, et al. New apparatus for measurement of stress effect on permeability of unsaturated soil[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, **24**(1): 160-164. (in Chinese))
- [9] 田堪良, 张慧莉, 罗碧玉. 新型渗透变形仪的研制[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, **27**(增刊 2): 3441-3444. (TIAN Kanliang, ZHANG Huili, LUO Biyu. Development of a new-type apparatus for measuring seepage deformation[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, **27**(S2): 3441-3444. (in Chinese))
- [10] 蒋玉坤, 孙如华. 深部黏土渗透特性试验研究[J]. 岩土工程学报, 2012, **34**(2): 268-273. (JIANG Yukun, SUN Ruhua. Experimental study on permeability of deep clay[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, **34**(2): 268-273. (in Chinese))
- [11] 殷昆亭, 张建红, 李锦坤, 等. 防渗墙塑性混凝土原状样渗透特性试验[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1998, **38**(1):

- 88-91. (YIN Kunting, ZHANG Jianhong, LI Jinkun, et al. Study of permeability of plastic concrete of cutoff wall[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 1998, **38**(1): 88-91. (in Chinese))
- [12] 张 禾, 姚 坤, 王 飞. 一种测定塑性混凝土渗透系数的试验装置 [J]. 水利水电技术, 2012, **43**(6): 97-99. (ZHANG He, YAO Kun, WANG Fei. A tester for measuring permeability coefficient of plastic concrete[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012, **43**(6): 97-99. (in Chinese))
- [13] 朱建华. 土坝心墙原状土的三轴渗透试验[J]. 岩土工程学报, 1989, **11**(4): 57-63. (ZHU Jianhua. Triaxial permeability test on undisturbed soils of earth dam core[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1989, **11**(4): 57-63. (in Chinese))
- [14] 刘 涛, 崔亦昊, 张志华. 垂直渗透仪测定土工合成材料黏土垫方法初探[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2006, **4**(4): 287-290. (LIU Tao, CUI Yihao, ZHANG Zhihua. Primary study on the vertical permeameter for measuring permeability of geosynthetic clay line[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2006, **4**(4): 287-290. (in Chinese))
- [15] 李清富, 张 鹏, 曹宏亮. 高压土工渗透仪的研制与探讨 [J]. 水利水电技术, 2005, **36**(2): 71-73. (LI Qingfu, ZHANG Peng, CAO Hongliang. A high-pressure geotechnical permeameter: research and development[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2005, **36**(2): 71-73. (in Chinese))

### 《岩土工程学报》征订启事

《岩土工程学报》创刊于 1979 年, 是我国水利、土木、力学、建筑、水电、振动等六个全国性学会联合主办的学术性科技期刊。由南京水利科学研究院承办, 国内外公开发行。主要刊登土力学、岩石力学领域中能代表当今先进理论和实践水平的科学的研究和工程实践成果等。报道新理论、新技术、新仪器、新材料的研究和应用。欢迎国家自然科学基金项目及其他重要项目的研究成果向本刊投稿, 倡导和鼓励有实践经验的作者撰稿, 并优先利用这些稿件。主要栏目有黄文熙讲座、综述、论文、短文、工程实录、焦点论坛、讨论和简讯等。

本刊被《中文核心期刊要目总览》连续多年确认为核心期刊, 并在建筑类核心期刊中位于前列; 本刊被科技部“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊)及“中国科技论文与引文数据库”收录; 本刊被中国科学院“中国科学引文数据库”收录; 本刊被“中国知网”全文收录及“中国学术期刊综合评价数据库”收录; 本刊被“工程索引 Ei Compendex 数据

库”和“日本科学技术振兴机构数据库 JST”等国际数据库收录。本刊网址 ([www.cgejournal.com](http://www.cgejournal.com)) 全文发布本刊所有刊载文章。

本刊读者对象为土木建筑、水利电力、交通运输、矿山冶金和油气资源等行业中从事岩土力学与岩土工程专业的科研、设计、施工、监理和学习人员。

本刊为月刊, A4 开本, 双栏排版, 220 页, 每月中旬出版, 每期定价 40 元, 全年定价 480 元。

本刊国际标准刊号 ISSN 1000-4548, 国内统一刊号 CN 32-1124/TU, 国内发行代号 28-62, 国外发行代号 MO 0520。欢迎广大读者在全国各地邮局订购, 也可在编辑部订购(不另收邮费)。编辑部订购地址: 南京虎踞关 34 号《岩土工程学报》编辑部; 邮编: 210024; 联系电话: 025-85829534, 85829543, 85829553, 85829556; 传真: 025-85829555; E-mail: ge@nhri.cn。

(本刊编辑部)