

# 新型全自动 $K_0$ 固结仪试验结果影响因素分析

刘聪

中国铁路设计集团有限公司, 天津 300251

**摘要 :** 本文采用新型全自动  $K_0$  固结仪, 对影响静止侧压力系数试验结果的因素进行了探讨研究, 分析了初始围压在试验中的作用及对试验结果影响的重要程度, 并提出了相应的改进方法; 研究分析了固结腔内不同胶膜种类对固结过程和试验结果的影响, 得到相较于2mm的橡胶膜, 采用0.25mm的乳胶膜更能灵敏反应土样的侧压力状态; 同时, 针对软土试样试验结果线性关系不良的情况, 进行了不同加荷序列下试验结果的研究分析, 得出在进行软土试验时, 取200–500kpa加荷序列范围内的试验结果可得到更加稳定的线性关系, 所得静止侧压力系数与经验值更为接近。

**关键词 :** 全自动  $K_0$  固结仪; 静止侧压力系数; 试验结果; 影响因素

## Analysis Of Influencing Factors On The Test Results Of The New Fully Automatic $K_0$ Consolidation Instrument

Liu Cong

China Railway Design Corporation, Tianjin 300251

**Abstract :** This article uses a new fully automatic  $K_0$  consolidation instrument to explore and study the factors that affect the test results of static lateral pressure coefficient. The role of initial confining pressure in the test and its importance on the test results are analyzed, and corresponding improvement methods are proposed; The study analyzed the influence of different types of rubber films in the consolidation chamber on the consolidation process and experimental results, and found that compared to a 2mm rubber film, using a 0.25mm latex film can more sensitively reflect the lateral pressure state of the soil sample; At the same time, in response to the poor linear relationship between the test results of soft soil samples, research and analysis were conducted on the test results under different loading sequences. It was found that when conducting soft soil tests, taking the test results within the range of 200–500kpa loading sequences can obtain a more stable linear relationship, and the static lateral pressure coefficient obtained is closer to the empirical value.

**Keywords :** fully automatic  $k_0$  consolidation instrument; static side pressure coefficient; test results; influence factor

### 引言

$K_0$ 固结试验是岩土工程领域中一种关键性的试验方法, 其主要目的是测定土体的静止侧压力系数 ( $K_0$ ) 以及分析其固结特性<sup>[1]</sup>。该试验结果在工程设计、地基处理及土体稳定性分析等方面发挥着至关重要的作用。随着科技的不断进步, 新型全自动  $K_0$  固结仪逐渐取代了传统的人工操作仪器, 显著提升了试验的效率和精度<sup>[2]</sup>。然而, 在实际应用过程中, 新型全自动  $K_0$  固结仪的试验结果易受多种因素的影响, 这些因素包括土壤性质、试验条件、仪器结构等, 从而导致数据出现偏差。魏道堃等对上海地区软土层静止侧压力系数进行了研究, 认为黏土静止侧压力系数在0.57–0.62范围内变化, 亚黏土静止侧压力系数在0.48–0.52之间; 王秀艳等对天津及华北地区的原状粉质黏土及黏土的静止侧压力系数进行了研究, 得出粉质黏土静止侧压力系数值随深度的变化范围为0.088–0.579, 黏土的静止侧压力系数数值在0.108–0.631之间; 国外学者 Brooker、Abdelhamid 以及 Simpson 和 Federico 通过一系列固结试验, 总结出静止侧压力系数和有效内摩擦角关系的公式, Alpan 分析了静止侧压力系数与塑性指数之间的关系, 给出了经验公式。

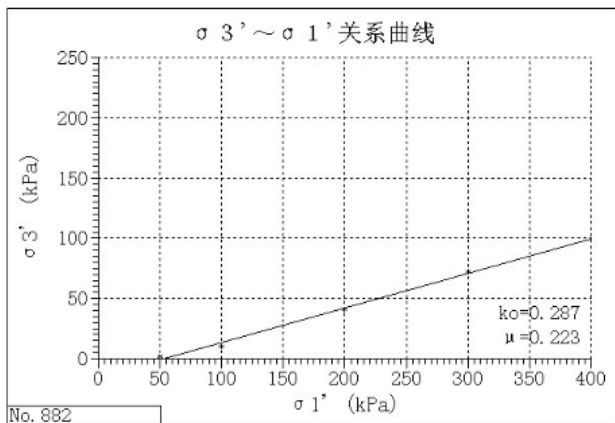
基于国内外研究现状, 一般为基于不同试验地区不同土质的静止侧压力系数结果的经验总结<sup>[3]</sup>, 很少从对静止侧压力系数试验结果的影响因素及改进措施上进行研究, 本文基于新型全自动  $K_0$  固结仪进行分析研究, 得出了影响试验结果的各项因素, 并给出了相应的解决方法, 为静止侧压力系数的准确测量提供了可靠依据和保障。

## 一、初始围压对试验结果的影响分析

### (一) 初始围压作用及影响分析

静止侧压力系数是指土体在无侧向变形的条件下，固结后的水平向主应力与竖向主应力之比，在  $K_0$  固结试验中，初始围压是指在试验开始前，土样因胶膜的作用，施加在土样上的周围压力值，这一压力反映了土样与胶膜的接触状态，即是否完全紧贴；同时也是对土体在实际工程中的初始应力状态的模拟，保证试验开始前不发生侧向变形，其对于重现土体在自然条件下的状态十分重要，初始围压的大小，直接决定了  $K_0$  试验结果的准确程度。

若仪器的胶膜与试样的紧贴程度不够，特别是在软土试验中，试样不易与仪器的胶膜完全紧贴，试样在受力之初会产生一定的侧向变形，而此时因为试样与胶膜之间缝隙的存在，胶膜无法感知试样变形，从而使实测的周围应力偏小进而造成试验在 50-100 kPa 压力下，所测得的侧压力值偏下，进而造成试验结果曲线不通过原点，如下图 1 所示，所得到的  $K_0 = \sigma_3' / \sigma_1'$  的值与真实值产生差异。



> 图1 轴向压力  $\sigma_1'$  与侧向压力  $\sigma_3'$  关系

### (二) 改进措施

针对试验开始前，胶膜与样品不贴合的状态，提出以下几点改进方法：

(1) 在试验开始之前采用注射器对准固结仪的注水管，先将部分水抽出，使容器胶膜向内凹陷，然后再装入试样，这样可以保证试样无阻力进入容器内部，不会因胶膜或者外力作用使其发生变形，保证了样品的原状性。

(2) 装入样品后，将注射器内像内推，将水注回压力感知腔内部，此时实时观察电脑终端显示的围压值在一个合理的范围内，一般为 5-10kpa，保证胶膜与试样成紧贴状态后关闭进水阀，拔出注射器后，开始是试验加压操作。

## 二、胶膜种类对试验结果的影响分析

### (一) 胶膜种类及其性能分析

在  $K_0$  试验中，胶膜种类作为重要的试验条件之一，对试验结果有着显著的影响。其主要起到固定土样、传递侧向压力值的作用。目前试验仪器所使用的胶膜种类主要包括天然橡胶、合成橡

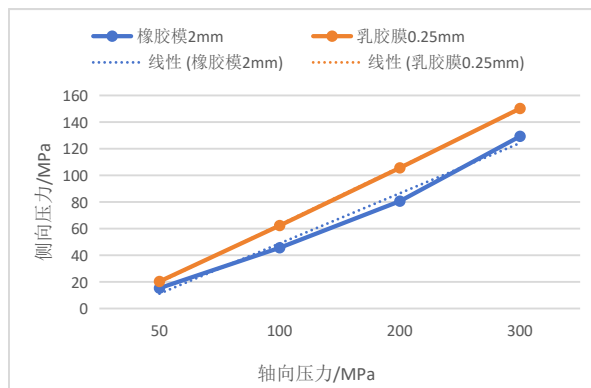
胶和聚乙烯等。不同种类的胶膜在性能参数上存在显著差异，例如它们的弹性、粘结性和耐腐蚀性等特性。这些性能参数不仅决定了胶膜在固结试验中的使用效果，而且直接影响了试验结果的准确性。

天然橡胶因其优异的弹性和良好的粘结性，常被用于固结试验中，本设备中使用了厚度为 2mm 的橡胶膜作为压力腔内的受力薄膜，经分析其在土样发生侧向变形后会产生弹性形变，其会消耗一部分土样的侧压力，进而使围压传感器测得的侧压力值偏小，进而影响实验结果。

相较于橡胶膜，乳胶膜具有高强度和高变形性，且其厚度可以达到 0.2-0.5mm，这样可以保障土样发生变形后产生的力值能充分的传递给压力腔，且还可以使试样与胶膜更加紧贴，将试验影响降低到最小。

### (二) 胶膜种类对试验结果的影响分析

为了研究胶膜种类对试验结果的影响，本研究设计了对比实验，分别使用不同种类的胶膜进行  $K_0$  试验。在试验过程中，严格控制其他条件不变，仅改变胶膜种类，选取 20 组试样进行对比试验。试验数据通过固结试验设备采集，并采用数据分析方法对不同胶膜种类条件下的试验结果进行对比分析。图 2 为一组代表性曲线。



> 图2 不同胶膜种类下试验结果曲线

随着围压值的增加，两种胶膜种类的试验结果均呈现出上升趋势。在相同围压条件下，使用乳胶膜（厚度为 0.25mm）的试验结果  $K_0=0.50$ ，采用橡胶膜（厚度为 2mm）的试验结果  $K_0=0.43$ 。这一发现揭示了不同胶膜种类在承受围压时的性能差异，在进行  $K_0$  试验时，可将现有仪器中的橡胶膜用乳胶膜替换，消除胶膜材料和厚度的对试验结果的影响，进而保证试验数据的准确性。

## 三、加荷序列对试验结果的影响

### (一) 加荷序列值分析

加荷序列是  $K_0$  固结试验中另一个至关重要的参数，它直接影响土体的应力状态和固结过程。在 GB/T50123-2019《土工试验方法标准》中，对  $K_0$  试验的轴向加荷序列规定为 25 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa、400kPa<sup>[4]</sup>，实际生产中多采用 50 kPa、100 kPa、200 kPa、300 kPa，作为试验的加荷序列进行试

验,但所得试验结果的线性关系不是很好,致使得出的  $K_0$  值与经验值相差较大。以下内容将详细分析探讨不同加荷序列下的试验结果,并提出相应的解决方法和改进措施。

### (二) 试验设置

选取物理指标相同的同一种试样各两个,分别进行平行试验取试验结果平均值,试验过程轴向加荷序列设置为 50 kPa、100 kPa、200 kPa、300 kPa、400 kPa、500 kPa,控制其他条件不变,测得不同轴向压力下的侧向压力值,将所得试验结果分析如下(选取6组代表性试样)。

表1 50-500kPa 加荷值下的侧压力值

围压值	侧向压力1	侧向压力2	侧向压力3	侧向压力4	侧向压力5	侧向压力6
50	2.1	0.4	1.4	0.9	0.4	0.9
100	10.4	0.7	4.0	1.4	1.8	9.9
200	41.2	18.6	15.8	24.1	22.7	43.9
300	72.1	48.6	35.1	56.7	50	78.6
400	109.6	85.2	56.3	88.6	75.6	112.3
500	146.6	123.6	77.6	120.3	100.2	145.2

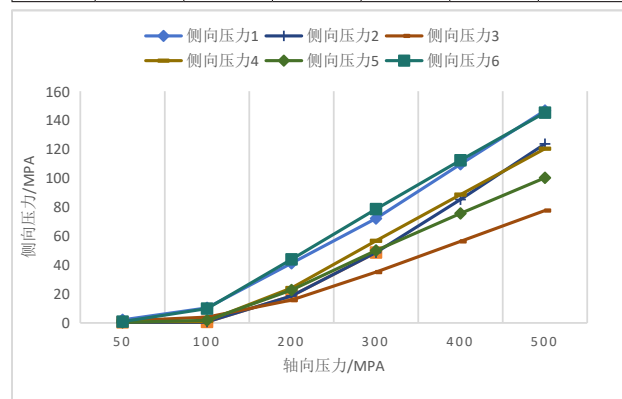


图3 侧向压力与轴向压力的关系

表2 不同加荷序列范围下的  $K_0$  值

$K_0$ 值	1#	2#	3#	4#	5#	6#
序列1(50-300)	0.29	0.20	0.14	0.23	0.21	0.32
序列2(200-500)	0.35	0.35	0.21	0.32	0.26	0.34
序列3(50-500)	0.33	0.28	0.17	0.28	0.23	0.33

### (三) 试验结论分析

从图3可以得出,轴向加荷序列在200kPa-500kPa 范围内的

线性关系良好,50 kPa-300 kPa 范围以及50 kPa-500 kPa 范围线性关系较差。从表2得出通过直线拟合得出的  $K_0$  值在200kPa-500kPa 范围内,测得的静止侧压力系数  $K_0$  值最大,经分析结果与经验值更为吻合,表明该范围内的数据稳定性与可靠性较高,因此,选取200-500 kPa 的压力范围作为最终试验结果,是基于加荷序列优化后获得的更佳线性关系和更精确  $K_0$  值的考量。

### (四) 解决方法和改进措施

经分析,加荷序列的选取对于软土的试验结果影响较大,在试验过程中应从以下几方面进行改进:

- (1) 在试验之前对于试样进行初步分类,尤其是对软土试样要格外注意;
- (2) 针对软土试样在试验时设置加荷序列要多设几级;
- (3) 针对试验结果的处理,要选取直线的后半段来计算  $K_0$  值,可以得到较稳定且准确的  $K_0$  值。

## 四、结论

本研究系统地分析了新型全自动  $K_0$  固结仪试验结果的影响因素,包括初始围压、胶膜种类和加荷序列。研究结果为  $K_0$  固结试验的设计和和实施提供了理论支持,有助于提高试验结果的准确性和可靠性。未来研究可进一步探讨其他影响因素,以进一步优化  $K_0$  试验方法并提高试验结果的准确性。具体结论如下:

- (1) 为消除软土试样在装样后与胶膜不能充分接触的影响因素,试验开始前要采取措施,观察初始围压的大小,一般控制在5 kPa -10 kPa 范围内,再开始试验;
- (2) 固结仪装样容器内的胶膜采用0.25mm 左右厚度的乳胶膜更能灵敏的反应土样试验过程的侧压值,在条件允许的情况下可将胶膜进行更换;
- (3) 在进行软土试验时,轴向加荷序列要多设几级,试验结果处理时要选取直线的后半段来计算  $K_0$  值,可以得到较稳定且准确的  $K_0$  值。
- (4) 若试验室遇到的各项影响因素不能充分避免,建议依据日常试验结果,针对各个影响因素找出一定规律,得出真实值与实际值的相关系数,进而对  $K_0$  值进行相关系数修订。

## 参考文献

- [1] 高刚.  $K_0$  固结条件下上海软黏土的力学特性研究 [J]. 土工基础, 2023, 37(04):694-698.
- [2] 代云霞, 黄雄, 严义鹏, 等.  $K_0$  固结与等向固结三轴不排水抗剪强度研究 [J]. 中国港湾建设, 2023, 43(04):60-64.
- [3] 万征, 曹伟, 刘媛媛, 等.  $K_0$  超固结结构性黏土的本构模型 [J]. 力学学报, 2021, 53(10):2800-2813.
- [4] 中华人民共和国国家标准. 《土工试验方法标准》GB/T50123-2019.