

GEO-Experts

应力相关的土水特征曲线压力板仪系统

中文操作手册



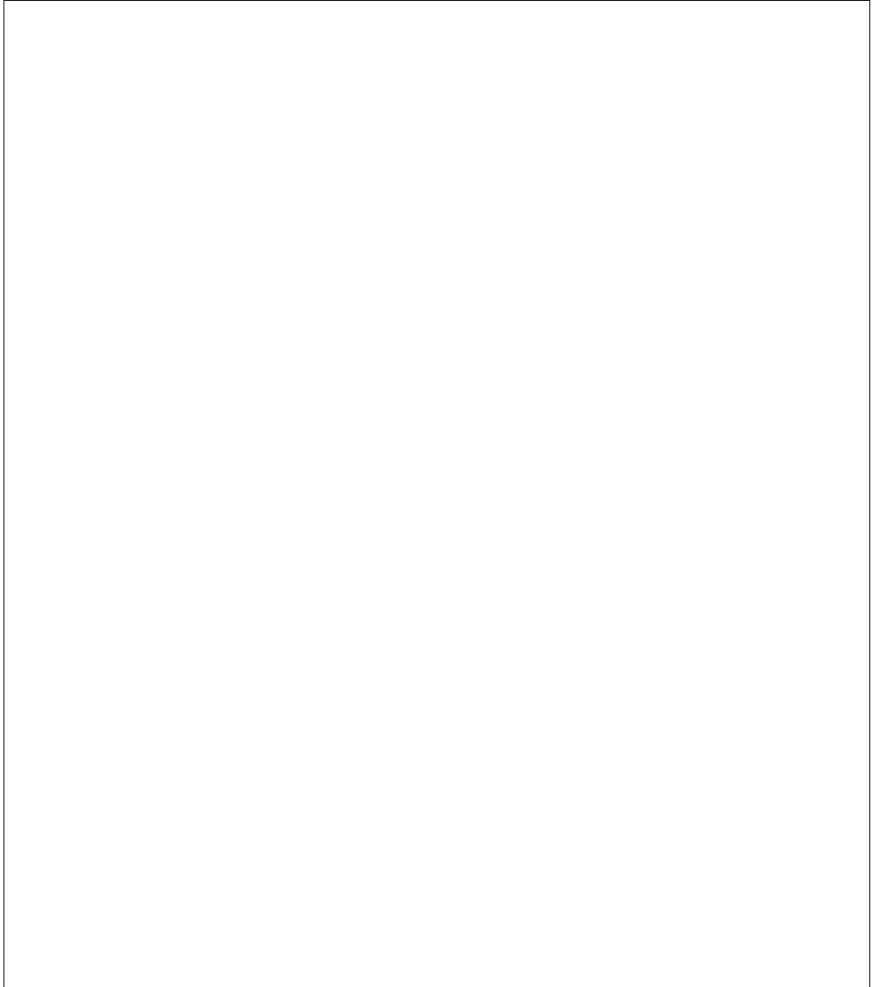
欧美大地®仪器设备中国有限公司
EARTH PRODUCTS CHINA LIMITED (EPC®)

欧美大地科技集团成员 Member of Earth Technologies Group

<http://www.epc.com.hk>

<http://www.epccn.com>

有限保修



版权声明

版权所有 ◆ 2009 欧美大地仪器设备中国有限公司，欧美大地科技集团成员

1	简介	1
2	设备	2
	2.1 压力板仪组件	2
	2.2 压力控制面板	4
	2.3 垂直气动加载系统	5
	2.4 水体积测量系统	6
3	陶土板的操作建议	9
	3.1 安装陶土板	9
	3.2 饱和陶土板	10
	3.3 检查陶土板的进气值和密封情况	11
4	建议的试样制备步骤	12
	4.1 原状土试样	12
	4.2 压实土样	12
	4.3 试样的饱和	13
5	应力相关的土水特征曲线试验操作建议	14
	5.1 预固结过程	14
	5.2 脱湿过程	16
	5.3 吸湿过程	18
	5.4 仪器的拆卸与试样的后处理	19

1 简介

本仪器是一套简便易用的非饱和土试验装置，用于应力相关的土水特征曲线及其滞后现象的研究，是研究一定压力下土壤与水分之间物理关系的基本工具。应力相关的土水特征曲线是指在一定应力状态下非饱和土的基质吸力(土体内部的孔隙气压力和孔隙水压力的差值)与含水量或饱和度之间的曲线关系。应力相关的土水特征曲线是非饱和土的一个重要基本性质，表征土体在一定应力状态、不同吸力下的持水能力。

对于任何土，本仪器均可获得不同应力状态下完整的脱湿和吸湿土水特征曲线。该仪器的压力板配有两个不同规格的压力表和调节器，在低压范围提高控制精度。本仪器系统的设计可控制基质吸力高达1500 kPa，但具体的基质吸力控制范围取决于陶土板的进气值。相较于传统的土水特征曲线压力板仪，除了可以测量土样在不同基质吸力下的水体积变化外，本仪器还能给土样施加一维荷载(即 K_0 状态)，并可以精确测量土样的总体积变化。用本仪器测得的应力相关的土水特征曲线比传统的土水特征曲线更准确，更接近现场土的性质。

本手册的编写假设仪器已装有进气值为5巴的陶土板，对于其他进气值的陶土板，相应操作步骤可自行调整。

主要性能:

- ◆ 通过一个试样可获得完整的脱湿、吸湿土水特征曲线；
- ◆ 不锈钢密封试样室，可以施加一维竖向应力，即 K_0 状态；
- ◆ 可以通过高精度的内部压力盒持续监控所施加的竖向应力；
- ◆ 可以精确测量土样的总体变及含水量；
- ◆ 双精度压力表和调节器用于精确气压控制。

2 设备

本仪器包括4个主要组成部分：压力板仪组件、压力控制面板、垂直气动加载系统和水体积测量系统。装配好的仪器如图1所示。



图1 装配好的仪器设备，包括4个主要组成部分。

2.1 压力板仪组件

压力板仪组件包括不锈钢试样室、螺杆、带有高进气值陶土板和冲刷凹槽的底座、环刀、透水石、顶盖、加载杆、压力盒和竖向位移传感器(即线性可变差动变压器，LVDT)。本组件为土样提供了一个单独的密闭空间，可独立施加所需的一维竖向应力和围压，进行应力相关的土水特征曲线试验，并可测量试验中土样的竖向位移。压力板仪组件的各个部件如图2所示，各部件的用途概述见表1。

压力盒和位移传感器在出厂前由厂家标定好，并保修一年。一年后，使用者可要求将其送回EPC公司重新标定，或者自己重新标定。每个传感器的标定试验数据详见随附的标定说明书。

2 设备



表1 压力板仪组件各部件的作用概述

部件	用途
高进气值陶土板*	可维持小于其进气值的气压 防止有气进入其下方而影响水体积变化的测量
不锈钢试样室和螺杆	提供了一个单独的密闭空间
环刀**	尺寸：直径70 mm，高19 mm 用于装样 限制侧向位移，使试样处于K0状态 易于切取原状土试样
加载杆	将应力从气动加载架传递到压力盒
顶盖**	将应力从压力盒传递到土样
透水石**	使试样室内的空气连续均匀地分布到土样内
压力盒***	测量所施加的竖向应力
位移传感器 (LVDT) ***	测量竖向位移

* 配送的标准陶土板进气值为5巴(500kPa)，其它进气值(例如1、2、3或15巴)的陶土板可从EPC公司订购。

** 如果土样的截面不是圆形，模具、顶盖及透水石均可从EPC公司特别订制。

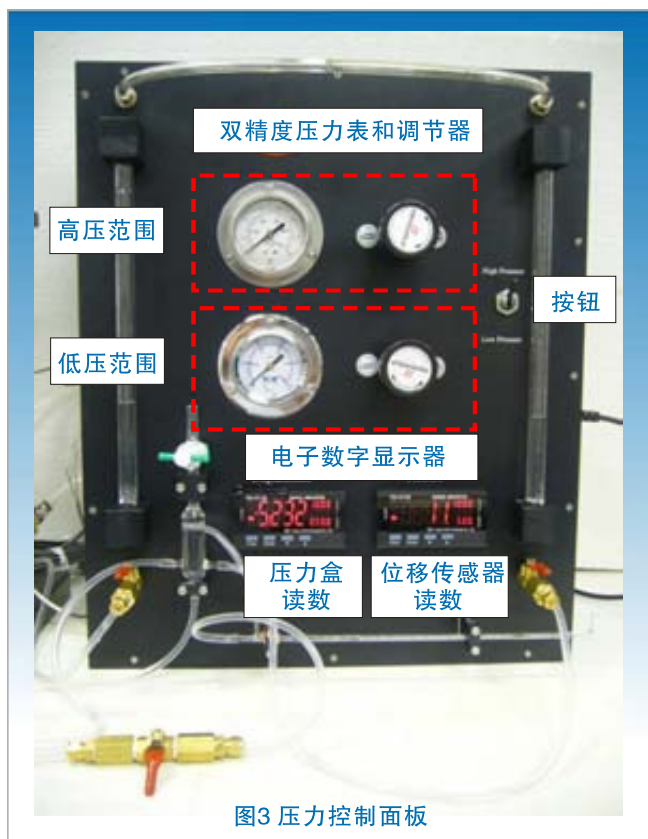
*** 压力盒和位移传感器的详细技术规格见表2。

2 设备

2.2 压力控制面板

双精度压力表和调节器用于精确控制施加于土样的气压(或基质吸力), 见图3。位于控制面板下部的压力表和调节器可控制的气压范围为3–200 kPa, 其精度为5 kPa; 位于控制面板上部的压力表和调节器可控制的气压范围为10–1000 kPa, 其精度为20 kPa。这些压力表和调节器的详细技术规格见表2。高压范围或低压范围的选择通过转换一个按钮向上或向下来分别实现。

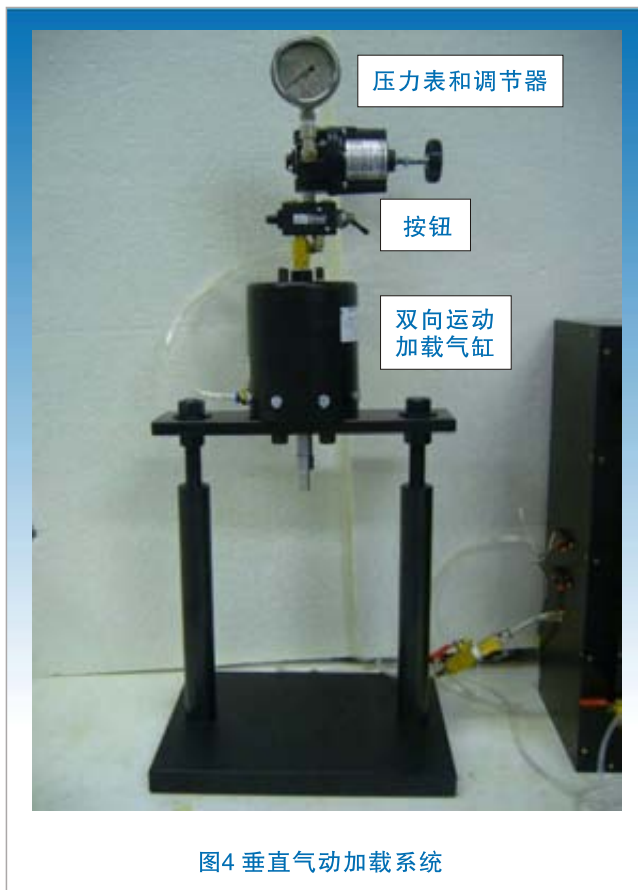
两个电子数字显示器用于显示压力盒(左)和位移传感器(右)的读数。



2 设备

2.3 垂直气动加载系统

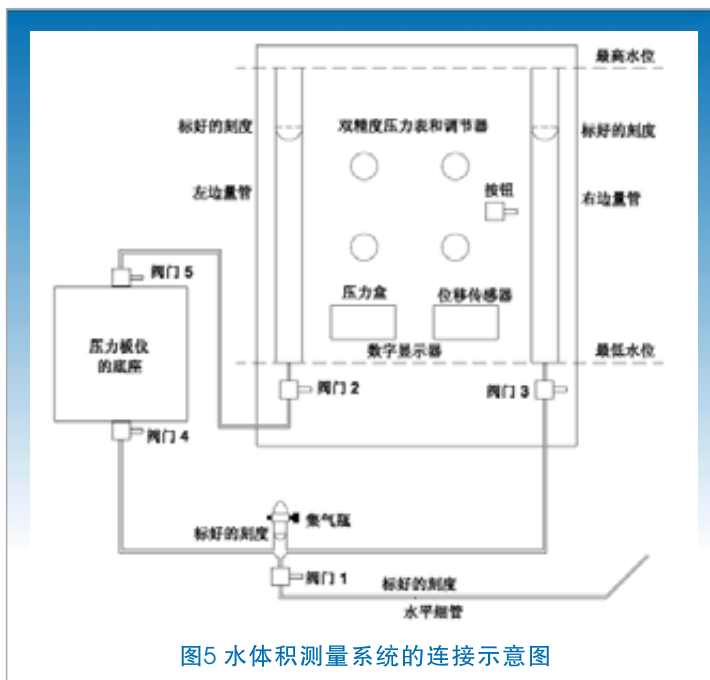
垂直气动加载系统包含一个加载架、一个双向运动加载气缸、一个压力表和一个调节器(见图4)。压力表和调节器的详细技术规格见表2。双向运动加载气缸上方装配有一个按钮，按钮向上或向下控制加载气缸的运动方向。具体的操作过程详见本手册第5部分。



2 设备

2.4 水体积测量系统

水体积测量系统主要有两个作用：(1)有效地冲刷由于长时间的应力相关的土水特征曲线试验而累积的扩散气泡，(2)精确地测量试验过程中土样内的水体积变化。水体积测量系统的连接示意图如图5所示。



在应力相关的土水特征曲线试验开始前，整个水体积测量系统包括高进气值陶土板在内需充满无气水，并排除气泡。高进气值陶土板的饱和过程详见本手册3.2部分。使用者需给集气瓶、水平细管和两支竖直量管标记一个刻度，作为参考。集气瓶、水平细管和两支竖直量管内的水位在试验前均需调至其标好的刻度位置。在每次测量水体积变化前，均需根据以下步骤冲刷扩散气泡，以防测量误差：

1. 关闭阀门1，打开阀门2、3、4和5，启动冲刷功能。

2 设备

2. 用手泵给左边的量管施加很小的气压，使得陶土板下的扩散气泡在透明的连接管道内随着水一起流动。气泡最终将被集气瓶收集，从而使得集气瓶内水面下降。（注：冲刷过程中左边量管内的水位最好不要低于最低刻度线，而右边量管内的水位最好不要高于最高刻度线。）
3. 重复步骤2，直到观察不到明显气泡为止。如果有可见的微小气泡粘附在管道内，用步骤2和3无法有效冲刷时，本仪器提供了另一种有效的冲刷方法：
4. 用一个圆柱状重物滚筒朝一个方向碾压软管，然后提起
5. 重复步骤4，直到管内观察不到气泡为止。

当冲刷过程完成后，即可测量土样的水体积变化：

6. 利用手泵施加一个很小的吸力或压力，使左边量管内的水位重新调回标好的刻度，然后关闭阀门2。
7. 打开集气瓶的阀门，直到瓶内水位上升到标好的刻度。打开阀门的动作必须非常缓慢和小心，以防集气瓶内的水位突然上升甚至冲出瓶口。
8. 用手泵在右边量管顶部施加一个很小的吸力或压力，缓慢打开阀门1，利用手泵调整水平细管内的水位到标好的刻度，然后马上关闭阀门1。
9. 此时，左边量管、集气瓶和水平细管内的水位均已调回标好的刻度，记录右边量管的读数。该读数与前一次测得读数的差值，即为两次测量间隔内土样水体积的变化。

测量完成后，在长时间的试验过程中，两支量管的顶端均需适当密封，以防水分的蒸发。水平细管的右侧出口需要通大气，但也应注意防止水分的蒸发。

2 设备

技术规格	
1 基质吸力的控制范围:	取决于陶土板的进气值
2 试样直径*:	90 mm 或 140 mm
3 试样高度:	最高 25 mm
4 环境温度:	5 ~ 50°C
5 双精度压力表和调节器	
最大供应压力:	500 psi (约35巴)
流量:	在 100 psi (约7巴)时为40 SCFM (68 m ³ /小时)
低压范围:	0.5 ~30 psi (约0.03 ~2巴)
高压范围:	2 ~150 psi (约0.1 ~11巴)
6 陶土板的进气值**:	5巴 (标准)
7 垂直气动加载系统	
加载气缸的加载量程:	10 kN
加载气缸杆件的移动量程:	50 mm
压力表量程:	0 ~ 4.5巴
调节器量程:	0 ~10巴
8 压力盒	
量程:	2 MPa
额定输出:	0.5 mV/V
非线性:	2 % RO
数字显示:	1通道, 4数字
9 位移传感器(LVDT)	
量程:	5 mm
额定输出:	5 mV/V ± 0.3 %
非线性:	0.3 % RO
数字显示:	1通道, 4位数

* 可以从EPC公司订购直径为100 mm或150 mm的试样室

** 可以另外订购其他进气值(例如1、2、3或15巴)的陶土板

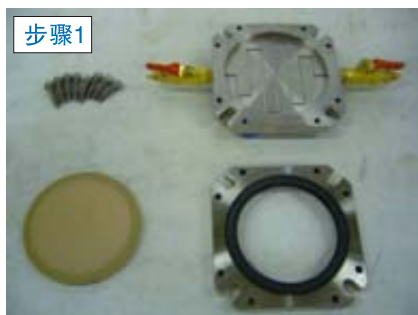
3 陶土板的操作建议

3.1 安装陶土板

当本仪器交货时，压力板仪底座会安装好一块进气值为5巴的陶土板。其他进气值（例如1、2、3或15巴）的陶土板可从EPC公司订购。安装新陶土板的具体步骤建议如下：

1. 松开8颗螺丝，拆开压力板仪的底座。在拧松螺丝时，注意需对称拧，以防对易断裂的高进气值陶土板产生额外局部应力。
2. 确保底板表面的冲刷凹槽没有堵塞。
3. 将干燥的高进气值陶土板直接放在底板上方。（高进气值陶土板的饱和过程详见本手册3.2部分。）
4. 将带有密封胶圈的底座上部面板放在陶土板上方，然后用螺丝固定密封。拧紧螺丝时，注意需对称拧，以防对陶土板产生额外局部应力。（陶土板密封情况的检查将在本手册3.3部分讨论。）

步骤1



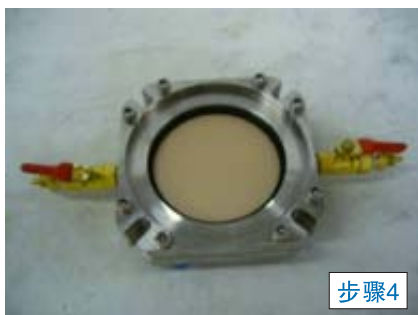
步骤2



步骤3



步骤4

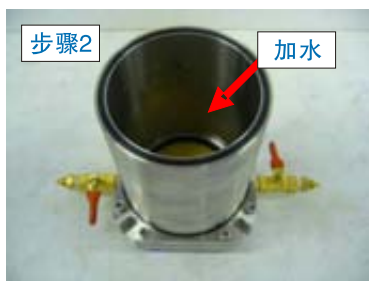
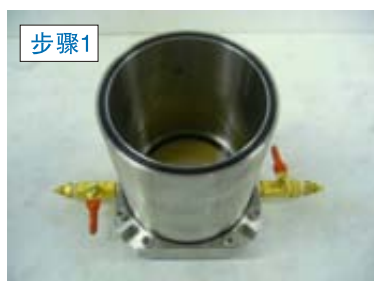


3 陶土板的操作建议

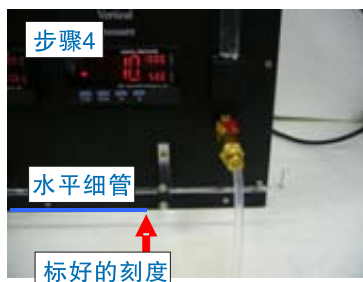
3.2 饱和陶土板

在应力相关的土水特征曲线试验前，需要先饱和陶土板，并检查陶土板的进气值和密封情况。饱和陶土板的过程主要包括两项：(1)利用高水力梯度赶走陶土板内的空气；(2)利用高水压使陶土板内的气泡溶解于无气水中。建议的操作步骤如下：

1. 将不锈钢试样室的侧壁放置于底座上。
2. 注入无气水淹没陶土板，水位高于陶土板表面，比如50 mm。在无气水上加一层薄薄的煤油，防止饱和过程中空气溶解于无气水。



3. 将仪器装配好。确保4根螺杆拧紧，使不锈钢试样室呈密封状态。
4. 打开阀门1-5 (见图5)，将整个水体积测量系统充满无气水，并排除气泡。然后将量管、集气瓶和水平细管内的水位都调到标好的刻度。



5. 关闭阀门1，保持其他阀门打开。
6. 连接并打开气源。

3 陶土板的操作建议

7. 使压力控制面板的按钮朝上，采用高压范围的压力表和调节器。
8. 顺时针慢慢拧动调节器，给试样室施加围压，直到一个较高的气压值，比如大约5巴(如果采用的陶土板进气值为5巴)。



9. 保持围压不变，排水一个小时，并不时地冲刷系统去除气泡。冲刷步骤详见本手册2.4部分的步骤1-5。
10. 关闭阀门4和5一个小时。
11. 重复步骤9和10，直到冲刷时不再观察到明显气泡为止。

3.3 检查陶土板的进气值和密封情况

检查陶土板的进气值应在陶土板的饱和过程完成后进行，建议的操作步骤如下：

1. 排走试样室内的无气水，洗净系统，去除煤油。
2. 在陶土板表面附一层薄薄的无气水，确保陶土板保持饱和状态。
3. 重复本手册3.2部分的步骤3-8，施加围压使其等于陶土板的标准进气值。
4. 保持围压不变，并不时地按2.4部分的步骤1-5冲刷系统。
5. 当保持围压至少2个小时后，如果冲刷系统仍然看不到明显气泡，说明陶土板的进气值和密封情况没问题。
6. 如果步骤5的冲刷过程中看到过量的气泡，则说明陶土板可能有微裂缝或密封不好。根据3.1-3.3部分建议的步骤，重新安装、饱和和以及检查陶土板的密封情况。如果发现仍然有气泡，说明陶土板可能产生了微裂缝，需要替换新的陶土板。

在检查完陶土板的进气值和密封情况后，应根据3.2部分建议的步骤重新饱和和陶土板待用。

4 建议的试样制备步骤

4.1 原状土试样

原状土试样通常通过现场取样获得，然后在实验室内采用不同的切割模具切成所需的尺寸。具体制备步骤建议如下：

1. 称模具的质量，记为 m_o 。
2. 将模具刃口向下放在土样上，垂直慢慢下压。
3. 同时沿着模具外壁切削土样，边压模具边削土，直到土样高出模具。
4. 在刃口下方切断土样，使得土样两端都高于模具。
5. 用钢丝锯或切土刀平整模具两端土样，然后擦净模具外壁。
6. 制备好的原状土试样在试验前应合理存放，以减少水分流失。

4.2 压实土样

压实土样可通过重新配置土样到试验所需的干密度和含水量来制备。具体制备步骤建议如下：

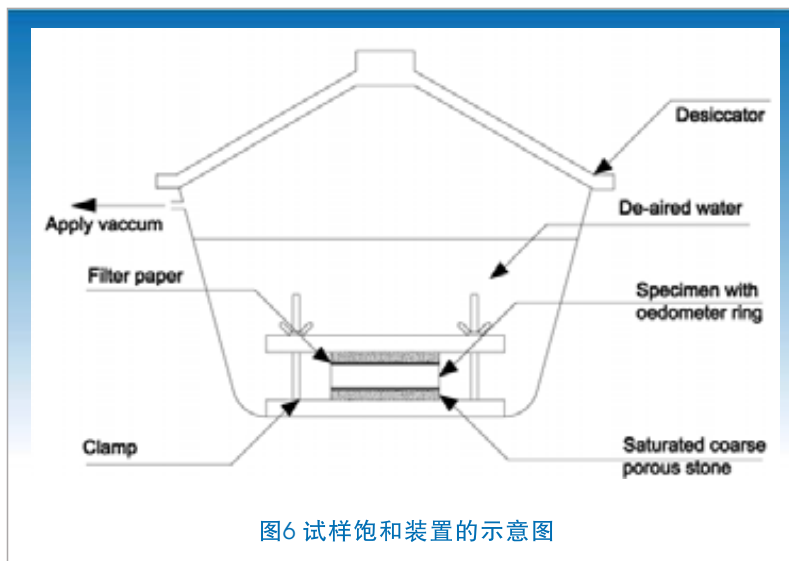
1. 将土样在45°C烘箱中烘至少48小时。
2. 用橡胶锤将烘干的土样碾散。
3. 称取所需质量的干土， m_s ，以达到所需的干密度， γ_d 。
 $m_s = \gamma_d V_o$ ， V_o 为模具的容积。
4. 将干土与所需量的无气水充分地混合搅拌。为减少大土块的形成，无气水采用喷雾器逐步地加。搅拌过程中形成的大土块用碾槌碾散。
5. 让拌匀的土过10号筛(2mm)。
6. 重复步骤4和5，直到筛上残留很少量的土为止。
7. 将拌匀过筛后的土样密封于塑料袋内，存放至少24小时，使得水分平衡分布。
8. 称模具的质量，记为 m_o 。
9. 采用静力或动力压实方法在模具内压实土样。为使试样的密度均匀，建议分三层压实土样。压实过程中每层土的表面需刮花，从而使得相邻层土之间的接触更好。
10. 制备好的压实土样在试验前应合理存放，以减少水分流失。

4 建议的试样制备步骤

4.3 试样的饱和

原状土试样或压实土样在应力相关的土水特征曲线试验的脱湿过程开始前，均需先饱和。试样的饱和过程建议如下：

1. 准备两块透水石，放入一个装有无气水的干燥器内浸泡至少30分钟。可以给干燥器内施加一个小真空值以加速其饱和过程。
2. 在试样上下两端表面各放一片滤纸。
3. 在土样两端的滤纸外再各放一块饱和好的透水石，然后用架子夹紧，但注意不要对试样产生额外应力。
4. 将夹好的试样放入干燥器内的无气水中，如图6所示。



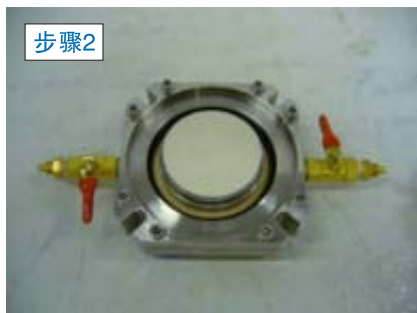
5. 给干燥器内施加一个小真空值至少48小时。
6. 当没有明显气泡观察到时，可认为试样的饱和过程完成。
7. 当饱和过程完成后，撤掉真空。
8. 称量饱和试样和模具的总质量， m_T 。
9. 确定试样的饱和重力含水量， w_s ，通过下式计算： $w_s = \frac{m_T - m_o - m_s}{m_s}$

5 应力相关的土水特征曲线试验操作建议

测定一条应力相关的土水特征曲线有多种方案，其中一种可行的方案包括三个部分，即预固结、脱湿和吸湿过程。每个过程的具体操作步骤建议如下：

5.1 预固结过程

1. 将整个水体积测量系统内充满无气水，并排除气泡。然后将量管、集气瓶和水平细管内的水位都调到标好的刻度，再关闭阀门1-5 (见图5)。
2. 将饱和好的试样连同模具转移到擦干的饱和陶土板表面上，对中，并确保试样与陶土板接触良好。
3. 将饱和好的透水石和顶盖放在饱和试样的上方。



4. 将仪器装配好。确保4根螺杆拧紧，使不锈钢试样室呈密封状态。
5. 记录数字显示器显示的压力盒(kPa)和位移传感器(mm)的初始读数。
6. 打开阀门1和4。

5 应力相关的土水特征曲线试验操作建议

7. 连接并打开气源。
8. 使垂直加载系统的按钮朝上，然后慢慢拧动调节器给试样施加竖向应力。所需施加的应力根据控制面板上左边数字显示器显示的压力盒读数来控制#。



9. 为了确保预固结过程中竖向应力保持不变，应该经常检查压力盒的读数，并调整调节器使压力盒的读数保持不变。
10. 不时地冲刷系统，按照本手册2.4部分建议的步骤1–5。
11. *每24小时至少记录位移传感器读数一次。
12. *每24小时至少记录水平细管内的水位变化一次。
13. 重复步骤9–12，直到预固结过程达到稳定状态，即竖向位移和水体积变化不再显著为止。
14. 测量土样的水体积变化，按照本手册2.4部分建议的步骤。

* 读数的频率取决于土样的平均孔隙尺寸。土样的平均孔隙尺寸越小，所需的读数间隔时间越长。

压力盒显示的读数并不等于所需加载于土样的竖向应力，必须进行修正计算，原因如下：

- (1) 压力盒、顶盖和透水石都不可避免地会对试样产生覆盖压力。
- (2) 压力盒与试样的横截面尺寸可能不同。
- (3) 还需修正加载杆横截面部分施加的围压。

5 应力相关的土水特征曲线试验操作建议

5.2 脱湿过程

预固结过程完成后，可进入脱湿过程。脱湿过程的具体操作步骤建议如下：

1. 保持预固结过程最后的竖向应力不变。
2. 记录位移传感器的读数。
3. 将左边量管、集气瓶和水平细管内的水位重新调整到标好的刻度，记录右边量管的读数。
4. 连通并打开气源。
5. 使压力控制面板上的按钮朝下，采用低压范围的压力表和调节器来精确控制施加小于2巴的气压。
6. 顺时针慢慢拧调节器，增加气压到所需的基质吸力值。所加的气压值直接显示于低压范围的压力表。而所应施加的竖向应力需要做相应的调整#。



7. 为了确保脱湿过程中竖向应力保持不变，应该经常检查压力盒的读数，并调整调节器使压力盒的读数保持不变。
8. 不时地冲刷系统，按照本手册2.4部分建议的步骤1-5。
9. *每24小时至少记录位移传感器读数一次。
10. *每24小时至少记录水平细管内的水位变化一次。

5 应力相关的土水特征曲线试验操作建议

11. 重复步骤7-10，直到土样达到吸力平衡状态，即竖向位移和水体积变化不再显著为止。
 12. 测量土样的水体积变化，按照本手册2.4部分建议的步骤6-9。13. 增加气压到下一个所需的基质吸力值，重复步骤6-12。(注：到这个步骤为止，所加的气压不能超过2巴。)
 14. 所需施加的气压大于2巴时，(i) 保持2巴的气压源不变；(ii) 转换控制面板上的按钮朝上，采用高压范围的压力表和调节阀。
 15. 增加气压到下一个所需的基质吸力值，重复步骤6-12。(注：所加的气压不能超过陶土板的进气值。)
 16. 当脱湿过程完成后，可进入吸湿过程(5.3部分)。如果不进行吸湿过程试验，则可直接去5.4部分——仪器的拆卸与试样的后处理。
- * 读数的频率取决于土样的平均孔隙尺寸。土样的平均孔隙尺寸越小，所需的读数间隔时间越长。
- # 压力盒显示的读数并不等于所需加载于土样的竖向应力，必须进行修正计算。

5 应力相关的土水特征曲线试验操作建议

5.3 吸湿过程

当脱湿过程完成后，可进入吸湿过程。吸湿过程的具体操作步骤建议如下：

1. 保持脱湿过程最后的围压和竖向应力不变。
 2. 记录位移传感器的读数。
 3. 将左边量管、集气瓶和水平细管内的水位重新调整到标好的刻度，记录右边量管的读数。
 4. 顺时针慢慢拧高压范围的调节器，降低气压到所需的基质吸力值。所加的气压值直接显示于高压范围的压力表。而所应施加的竖向应力需要做相应的调整#。
 5. 为了确保脱湿过程中竖向应力保持不变，应该经常检查压力盒的读数，并调整调节器使压力盒的读数保持不变。
 6. 不时地冲刷系统，按照本手册2.4部分建议的步骤1-5。
 7. *每24小时至少记录位移传感器读数一次。
 8. *每24小时至少记录水平细管内的水位变化一次。
 9. 重复步骤5-8，直到土样达到吸力平衡状态，即竖向位移和水体积变化不再显著为止。
 10. 测量土样的水体积变化，按照本手册2.4部分建议的步骤6-9。
 11. 降低气压到下一个所需的基质吸力值，重复步骤4-10。（注：如所需施加的气压小于2巴，则转用低压范围的压力表和调节器。）
 12. 当吸湿过程试验完成后，即可进入5.4部分——仪器的拆卸与试样的后处理。
- * 读数的频率取决于土样的平均孔隙尺寸。土样的平均孔隙尺寸越小，所需的读数间隔时间越长。
- # 压力盒显示的读数并不等于所需加载于土样的竖向应力，必须进行修正计算。

5 应力相关的土水特征曲线试验操作建议

5.4 仪器的拆卸与试样的后处理

试验结束后，仪器可根据一定的步骤进行拆卸。试样的后处理对于随后试样体积-质量特性的计算非常重要。仪器拆卸的步骤建议如下：

1. 逆时针慢慢拧控制面板上的调节器，使气压降为零。
2. 使垂直气动加载系统的按钮朝下，则加载杆会自动上升，撤销原本施加于土样的竖向荷载。
3. 慢慢拧动调节器，卸载加载气缸的气压到零为止。然后使垂直气动加载系统的按钮朝上。
4. 拧松压力板仪的4根螺杆，拆卸所有部件(包括不锈钢试样室、透水石、顶盖和压力盒等)。
5. 仪器拆卸完后，需立即称量试样和模具的总质量，以减少试样的水分流失。
6. 将试样放在45°C 的烘箱内烘至少48小时。
7. 称量烘干后的试样和模具干重。





欧美大地®仪器设备中国有限公司
EARTH PRODUCTS CHINA LIMITED (EPC)®

欧美大地科技集团成员 Member of Earth Technologies Group

<http://www.epc.com.hk> <http://www.epccn.com>

香港 电话: (00852)2392 8698 传真: (00852)2395 5655

广州 广州市广仁路1号广仁大厦16层 邮编: 510030
 电话: (020)8336 1533 传真: (020)8336 2080

北京 电话: (010)6708 2860 传真: (010)6708 2160

上海 电话: (021)5821 9850 传真: (021)5821 1778

南京 电话: (025)8319 0370 传真: (025)8319 7200

成都 电话: (028)8675 8783 传真: (028)8674 3787

西安 电话: (029)8833 7488 传真: (029)8833 7487

沈阳 电话: (024)2324 2365 传真: (024)2324 2359

武汉 电话: (027)8786 4202 传真: (027)8786 3386

深圳 电话: (0755)8234 4730 传真: (0755)8234 8570

福州 电话: (0591)8738 8113 传真: (0591)8738 8116

济南 电话: (0531)8179 5601 传真: (0531)8179 5600