

非饱和土三轴试验系统 (UNSAT)



概述: GDS 非饱和土三轴试验系统 (UNSAT) 是对传统三轴试验的延伸, 可以在接近实际地应力状态和饱和度条件下对地下水位以上的土体进行测试。所有 GDS 三轴测试系统 (以及其他制造商的三轴设备*) 都可以进行改造, 以进行非饱和土三轴测试。GDS 可以提供 4 种方法来进行非饱和土测试。

非饱和测试也可以运用到以下试验类型中: 剪切、空心扭转、共振柱和真三轴试验。

*请与 GDS 厂家确认现有设备与 GDS 设备的兼容性。

主要特点:

选择不同测试方法
香港科技大学

混合搭配

GDS 的经验

优点:

为了满足您的测试要求和预算, 参见下面的方法 A, B, C, D

方法 B 是与 HKUST(香港科技大学) 非饱和土测试方面的专家合作开发的

这些方法可以混合搭配使用, 以创建自定义系统

GDS 有多种不同的非饱和土测试方法, 可以客观地为客户提供最佳的测试选择。GDS 并不局限于单一的解决方案, 目前已销售超过 100 套非饱和土试验系统

非饱和土体变测量方法:

- 方法 A: 通过 GDS 孔隙气压/体积控制器直接测量孔隙气体积和孔隙水的体积变化。
- 方法 B: HKUST 内压力室 — 用差压传感器测量内压力室中水的水位变化进而得到试样的总体积变化。
- 方法 C: 双压力室 — 试样的体变通过 GDS 压力体积控制器测量流进或流出内压力室的水体积来完成。由于外压力室加压, 内压力室壁可视为是无限刚度的。
- 方法 D: 利用安装于试样上的局部应变传感器直接测量而得到试样的总体变。

技术参数:

方法 A	测量分辨率 测量精度	压力 = 0.2kPa, 体积 = 1mm ³ 压力 = <0.1% FRO, 体积 = 0.25%
方法 B	体积变化测量分辨率 体积变化测量精度	<10mm ³ 对于直径为 38mm、高 76mm 的试样, 精度约为 32mm ³ 或试样体积应变的 0.04%
方法 C	压力室体积测量分辨率 压力室体积测量精度	1mm ³ 0.25%
方法 D	位移测量精度	<0.1μm 霍尔效应传感器 = 0.8% FRO, LVDT = 0.1% FRO

方法 A - 通过 GDS 孔隙气压/体积控制器直接测量体积变化

如何使用?

为了直接测量体积变化，采用 2MPa/1000cc 高级气压压力体积控制器内充入空气，用于控制孔隙气压和以及测量孔隙气体积变化。采用 2MPa/200cc 高级水压压力体积控制器内充入除气水，用来控制孔隙水压力（反压）以及测量孔隙水体积变化。通过高级压力体积控制测量得到的孔隙气体积和孔隙水体积变化计算得到试样的总体积变化。

孔隙气压与试样顶部相连（见图 4），其值总要大于与底部相连的孔隙水压值。顶帽采用标准的透水石，由于孔隙气压大于孔隙水压，所以水不会进入到气分管路。因为底座配有高进气值陶土板(HAEPD)，所以气体也不会进入孔隙水管路。孔隙气压和孔隙水压维持一个压力差从而在非饱和土中产生一个“基质吸力”。

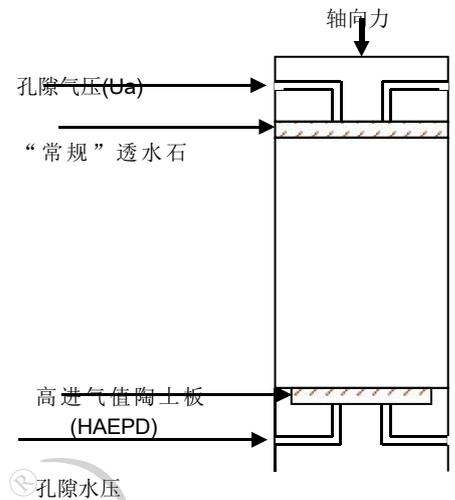


图 1 采用 GDS 方法 A 进行试验时的连接示意图

2MPa/1000cc 高级气体压力/体积控制器

GDS 2MPa/1000cc 高级气体压力/体积控制器，与普通充除气水的压力体积控制器在结构上相似。该控制器的内置控制软件是经过特别设计，以适用刚度较低的空气(见 Adams, Wulfsohn and Fredlund, 1996 - 如需该文献，请与 GDS 联系)。



图 2 2MPa/1000cc 气体压力/体积控制器

使用该控制器时需要注意以下几点：

- 该控制器气压量程为 2MPa，分辨率是 1kPa；体积量程为 1000cc，分辨率为 1mm³（即 0.001cc）。
- 该控制器专门设计用于控制气压。这是因为内置于控制器程序中的目标压力搜寻算法对于空气（极软）与水（比空气刚度大很多）来说是不同的。
- 控制器能从零压力开始运行，控制器能提供足够的体积变化，这里 1000cc 是必需的。同时，该控制器可以通过空压机预压，这能够在自身压缩时“节省”体积。

方法 A 技术参数

高级 2MPa/1000cc 气压/体积控制器

- 压力量程：2MPa
- 体积量程(名义上的)：1000cc
- 测量和控制分辨率：压力 = <0.1% 满量程，体积 = 0.5 mm³
- 测量精度：压力 = <0.1% 满量程，体积 = 0.25%

方法 A UNSAT 系统必备选项

- 带高进气值陶土板的非饱和土底座
- GDS 2MPa/1000cc 高级气压压力/体积控制器
- 4D 非饱和土软件模块

从方法 A 升级为方法 D 的升级选项

- 局部应变传感器 (霍尔效应或 LVDT 传感器)
- 大气压力传感器
- 三轴压力室通道环



方法 B – HKUST 内压力室体变测量

HKUST（香港科技大学）体变测量方法通过测量主三轴压力室中的内压力室里试样的体变来完成。体变测量通过一个高精度差压传感器（DPT）来完成，这使得体变测量仅仅在内压力室里面，从而使温度和压力变化引起的误差最小化。

通过一个 GDS 双通道气压控制器，软件控制的气动调节阀控制 a) 内外围压 b) 试样中的孔隙气压。

三轴试样安装在内压力室中（见图 3），该内压力室通过 DPT 与参照管相连接。由于试样变形，将引起内压力室内水位的上升或下降，通过测量内压力室和参照管的压力差，结合相关的标定系数，就可以得到试样的体变。



图 3 HKUST 内压力室和 DPT 连接示意图

方法 B 技术参数

- 差压传感器（DPT）量程：+/- 1.5kPa (+/- 150mm 水头)
- 差压传感器（DPT）精度：<0.2% 全量程
- 体变测量理论分辨率（16 位分辨率）：<10mm³。
- 体变测量精度：对于 38mm x 76mm 试样，约为 32mm³ 或 体积应变的 0.04%

HKUST UNSAT 系统必备选项

- 内压力室
- 带高进气值陶土板的非饱和土底座
- HKUST 顶帽
- 高精度、低量程差压传感器
- 4D 非饱和土软件模块
- 双通道气压控制器 (需要实验室气压源或空压机)
- 压力室通道环

方法 C – 双压力室体变测量

方法 C 体变的测量选项包括使用双层压力室或双压力室。由于压力室壁拉伸和蠕变引起的误差，常规的三轴压力室不能用于体变测量。

在双层压力室或双压力室中，内压力室壁没有压力差，因此没有径向拉伸/蠕变产生的误差。双层压力室由内有机玻璃壁和外有机玻璃壁构成。两个 GDS 压力/体积控制器用于控制围压/径向应力，第一个连接到内压力室，第二个连接到外压力室。围压目标值同时发送到内部和外部控制器。试样的体变是通过内压力室的体积变化来测量。

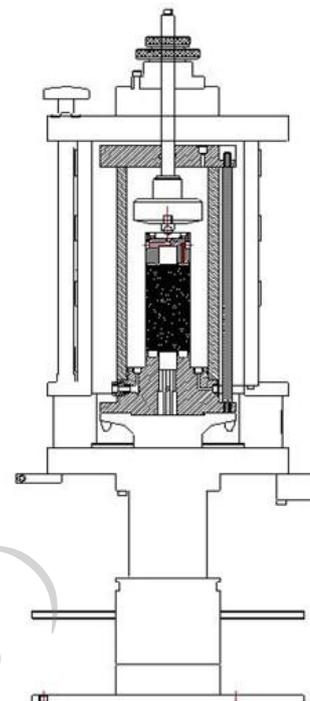
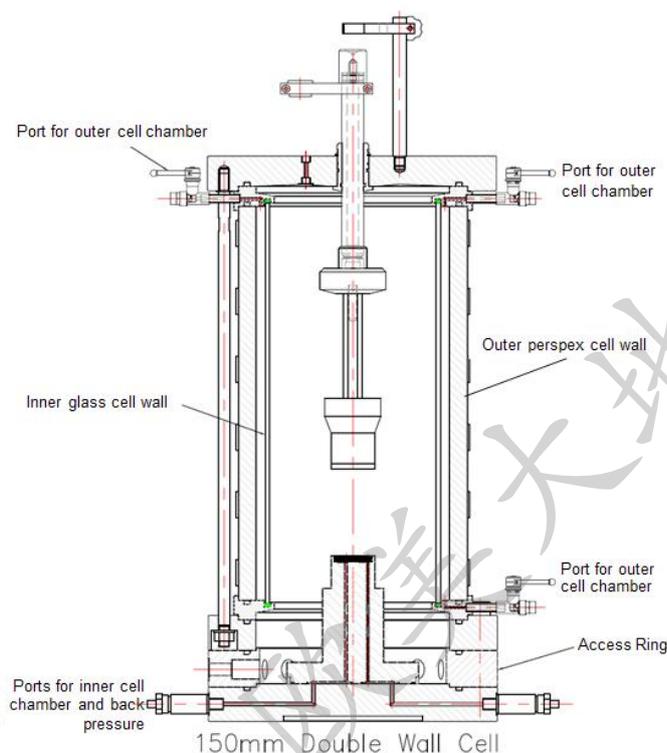


图 4 安装于 GDS Bishop & Wesley 内的双压力室示意图

以往曾尝试采用刚度较大的三轴压力室（例如：不锈钢压力室）而不是双层压力室。不锈钢压力室很重而且不透明，也会产生一些偏差。

图 5 双压力室示意图

方法 C 技术参数

2MPa/1000cc 高级气压压力/体积控制器

- 测量和控制分辨率：压力 = <math><0.1\%</math> 满量程，体积 = 0.5 mm^3
- 测量精度：压力 = <math><0.1\%</math> 满量程，体积 = 0.25%

方法 C UNSAT 系统必备选项

- GDS 双压力室
- 带高进气值陶土板的非饱和土底座
- GDS 压力/体积控制器
- GDSLAB 4D UNSAT 软件模块

升级为方法 C UNSAT 需要的选项

- 局部应变传感器 (霍尔效应或 LVDT 传感器)
- 大气压力传感器
- 三轴压力室通道环

方法 D – 局部应变测量

任何一套 GDS 系统都可以升级完成局部应变测量，如霍尔效应或 LVDT 传感器。两种装置都可以通过轻型铝制固定器固定在试样表面直接测量轴向和径向变形。

霍尔效应传感器可以在 1700kPa 水压力下使用。

LVDT 传感器有 2 种型号：

- 低压型 (最大可承受压力 3500kPa)，适合在水中使用。
- 高压型 (最大可承受 200MPa)，适合在不导电的油中使用。



图 6 霍尔效应和 LVDT 传感器

高进气值陶土板

在进行非饱和土试验时，将孔隙气和孔隙水分离以便维持一个压力差（即基质吸力）是很有必要的，可以通过一个高进气值陶土板（HAEPD）来完成。

当高进气值陶土板（HAEPD）完全饱和时，可以维持陶土板一边的气压大于另外一边的水压，气体不会通过该陶土板，可以维持的最大压力差就是“进气值”。在 GDS 系统中，高进气值陶土板（HAEPD）被固定在底座上。



图 7 用于方法 A 和 C 的非饱和底座（左）和用于方法 B 的 HKUST 底座

升级为弯曲元测试

任何非饱和系统都可以通过增加以下项目升级完成 P 波和 S 波弯曲元试验：

- 带有插入元件的弯曲元底座和顶帽
- 高速数据采集卡
- 信号调节装置包括发射和接收信号的放大器（P 波和 S 波），用户可以通过软件控制增益值

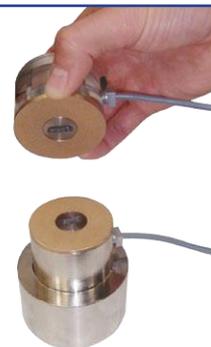


图 8 GDS 弯曲元

GDSLAB 4D UNSAT 软件模块

GDSLAB UNSAT 软件模块 (见图 9) 可以为多种应力路径提供控制和数据采集功能。这是一个四维应力路径模块，可以同时控制孔隙气压、孔隙水压、围压和轴压。

控制孔隙气压和孔隙水压的能力可以完成以下试验：

- 线性控制下的非饱和试验
- 土水特征曲线
- 饱和条件下的排水试验
- 非饱和条件下的排水试验

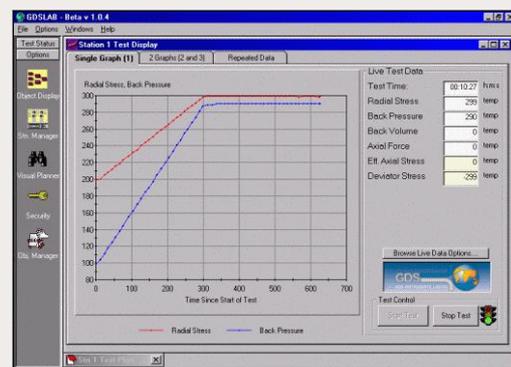


图 9 正在进行试验的 4D 非饱和土试验模块

方法 A, B, C, D 对比

试样体变测量方法	优点	缺点
<p>方法 A - 通过 GDS 孔隙气压力/体积控制器直接测量体积变化</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 孔隙水压和体变可以获得良好的精度和分辨率(1mm³) • 孔隙气压和体变可以获得良好的精度和分辨率(1mm³) 	<ul style="list-style-type: none"> • 必须测量压力变化后的空气体积变化——否则很难标定管路和压力源中气体压缩的体积 • 需要通过 GDS 绝对压力传感器测量大气压校正数据 • 无法消除气体溶解到溶液中所造成的误差
<p>方法 B - 通过 HKUST 内压力室测量体变</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 由于内压力室形状的特点和采用高精度差压传感器，所以可以获得很高的精度和分辨率 • 受内、外压力室压差的影响小 • 不需要像方法 C 那样独立控制两个压力，也不需要测量两个壁之间的围压差 • 相对于双层压力室来说更加稳定，受温度影响小 • 比较适合大尺寸的试样 	<ul style="list-style-type: none"> • 需要仔细标定 • 压力室中采用高质量的除气水 • 确保清除所有接头和管路中的气泡
<p>方法 C - 双压力室或双层压力室测量体变</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 当使用 GDS 控制器时可以获得较高精度和分辨率(1mm³)的气压数据 	<ul style="list-style-type: none"> • 必须采用金属压力室或者采用双层压力室 • 压力室采用高质量的除气水。确保清除所有接头和管路中的气泡
<p>方法 D - 局部应变测量</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 传感器只适合测量小应变 • 为小体变测量提供好的评价 • 可以和方法 A 和方法 C 结合使用（不适用于方法 B，因为内压力室空间太小 	<ul style="list-style-type: none"> • 不适合大应变测量。 • 假定为直立圆柱样

GDS 为世界排名前 50 位的大学中超过 75% 的大学提供设备:

根据“2017 年 QS 世界大学排名”报告，GDS 为世界排名前 50 位从事土木与结构工程的大学提供超过 75% 的设备。

GDS 还与许多商业实验室合作，包括 BGC Canada, Fugro, GEO, Geolabs, Geoteko, Golder Associates, Inpijn Blokpoel, Klonn Crippen, MEG Consulting, Multiconsult, Statens Vegvesen, NGI, Ramboll, Russell Geotechnical Innovations Ltd, SA Geolabs, SGS, Wiertsema 等和合作伙伴。



您会向您的同事，朋友或合伙人推荐 GDS 设备吗?

100% 的客户回答“是”

我们的交付后调查结果要求客户对其交付、安装（如适用）、支持文件、仪器和对 GDS 的总体满意度进行反馈。这项调查进行了两年。



英国制造:

所有 GDS 产品均在英国 Hook 的办公室设计、制造和组装。所有产品在发货前都有质量保证。

GDS 是一家通过 ISO9001:2015 认证的公司。本证书的范围适用于与“实验室和现场试验设备制造”有关的经批准的质量管理体系。

**40 YEARS OF
BRITISH
INNOVATION**



延长保修期:

所有 GDS 设备均有 12 个月的制造商保修。除了标准保修外，GDS 还提供 12、24 和 36 个月的全面延长保修，以确保将来不进行任何维修。延长保修期可在所有权的前 12 个月内随时购买。



GDS 培训与安装:

所有安装和培训均由合格工程师进行。在整个销售过程中，将为每个订单指派一名 GDS 工程师。他们将在装运前对设备进行质量保证，如果已购买安装，则在客户现场安装设备并提供培训。



技术支持:

GDS 了解持续的售后支持的必要性，因此他们有自己的专用客户支持中心。除了支持中心，GDS 还使用各种其他支持方法，包括远程 PC 支持、产品帮助表、视频教程、电子邮件和电话支持。

