

岩石孔隙体积压缩系数测试仪

2018 年 4 月 20 日



1.0 简介

DCI公司很高兴为满足Glocom的要求提供一个储层条件下的孔隙体积/岩石压缩系数测试仪。DCI具有足够的经验和资格来提供这种类型的系统。DCI工程师在岩石力学应用和流体流动系统等测试系统设计方面有多年的经验。孔隙体积/岩石压缩系数是两种系统的组成部分。DCI为这些应用设计和制造了自己的注入泵，在流体流动控制算法和压力控制方面有丰富的经验，在此提出的孔隙体积/岩石压缩系数测试仪中要求使用外部传感器进行反馈控制。

DCI测试系统的一些独特优势包括：

- 超高精度的传感器使测试数据达到最高的精度。
- 系统控制由触摸屏控制，设置测试配置，储层条件参数，数据采集速率，数据显示等。
- 易于在系统面板上直接跟踪系统流程，使操作人员易于理解，并设置系统条件。
- 专业的系统设计

2.0 测试系统描述

所建议的孔隙体积/岩石压缩系数测试仪由若干组成单一系统的部件组成。在此描述中分别描述了每一个组件。

这些组件包括：

- 岩心夹持器
- 孔压控制/孔隙体积测量系统
- 横向压力控制系统
- 轴向压力控制系统
- 压力仓内的岩心装置
- 岩心夹持器加热系统
- 自动数据采集和测试控制系统

2.1 岩心夹持器

岩心夹持器被永久安装在设备的工作台面之下。一个被胶套夹持好的样品被悬吊在夹持器支架的上端盖，下端盖装载在的围压流体中。

三轴岩心夹持器:系统设有三轴岩心夹持器，可独立控制系统的横向和轴向压力。三轴岩心夹持器的横向压力由胶套外的围压液提供。轴向压力由一个独立于横向压力的液压活塞控制。系统的横向和轴向压力均由独立的单缸注入泵控制。这可以达到非常精确的独立控制的横向和轴向压力。

仪器的岩心夹持器:用于横向和轴向应变的仪器(以下部分描述)。岩心夹持器将适当大小的岩心加载到该仪器中，并提供了管线连接口以允许在压力容器内的仪器连接。

技术规格:

压力范围: 10,000 psi
润湿部件材质: 不锈钢
密封材料: Viton
最大温度: 150°C
岩心直径: 1" 和 1.5"
岩心长度: 1-3 英寸

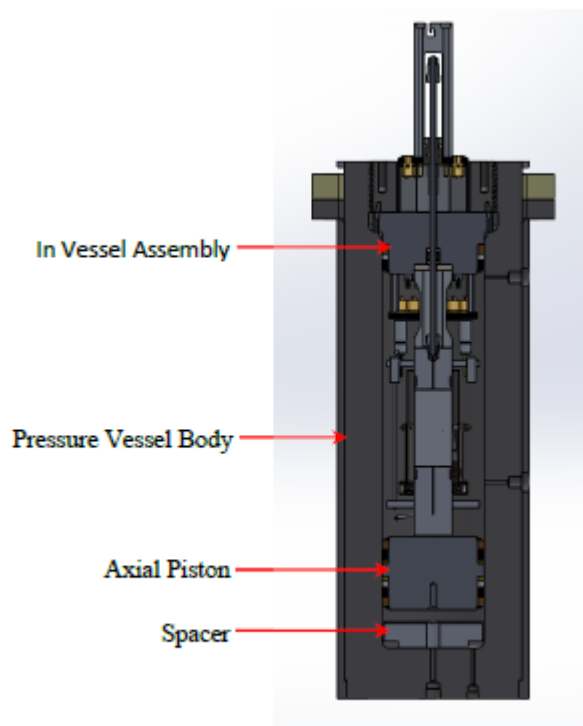


Figure 1: Tri-axial Core Holder

2.2 孔隙压力/孔隙体积测试系统

样品通过上端盖连接，并通过夹持器上端孔与孔压控制/孔隙体积测量系统相连接。该系统的核心是DCI的VPA(体积-压力驱动器)。VPA是一个滚珠丝杆驱动的注入泵，其中伺服电机驱动滚珠丝杠使活塞在注入泵内移动。伺服电机可以非常精确地控制注入泵的活塞。编码器提供伺服电机的精确位置反馈，使泵的流量或被注入器泵所接收到的数据非常精确(编码器的分辨率小于1 n1)。因此，VPA提供了样品中孔隙压力的压力控制。与此同时，它非常精确地监测从样品中流出的孔隙流体的体积。因此，可以进行一些不同的试验来评价孔隙体积压缩率。在一个实例中，VPA可以设置在恒压反馈模式下，以保持恒定的孔隙压力。然后改变横向或覆压应力进行实验。例如，当样品的应力增加时，样品中的孔隙空间被压缩。由于这个空间被压缩，为了保持恒定的孔隙压力，VPA必须收缩活塞，将流体从样品孔隙空间中抽出。因此，流入VPA泵的流体体积等于样品中孔隙体积的变化。另一个可能的测试是压降测试。在这种情况下，孔隙压力VPA泵再次在压力控制模式下运行。在这种情况下，孔隙压力减小，以模拟压降。通常在这个试验中，横向应力被控制以保持不变，用以模拟储层的条件。与前一种情况一样，流入VPA泵中的孔隙流体体积是非常精确的，并且(已经对流体压缩性进行修正)是对样品中孔隙体积变化的测量。

技术规格：

VPA 16S-10-20-100-HC

最大孔压：10,000 psi

缸体积：20 cc

体积分辨率：0.001 cc

密封材料：Viton

最大温度：150° C

润湿部件：哈氏合金 C276

压力传感器精度：0.1% FS



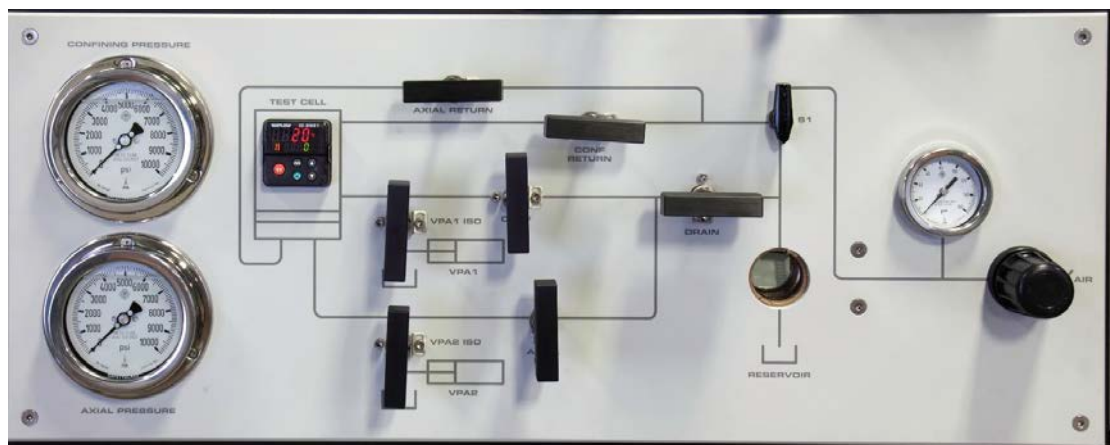
Figure 5: Pore Pressure Control Panel

2.3 横向压力控制系统

该系统提供了对横向围压液的填充、加压和排出的能力。面板上集成了一个大的压力表，操作员可以在任何时候监测系统中的横向压力。压力传感器允许数据采集系统对压力进行监控。压力是通过一个单缸注入泵产生的。围压系统通过安全隔板来进行超压保护。

自动压力控制是通过一个单缸注入泵(相当于VPA型号16S-10-20-100-SS)提供的，注入泵缸出口连接两个阀门管汇。双阀门管汇包括了气动定容阀，其中一个阀门是在注入泵缸和岩心夹持器之间，另一个阀门在注入泵缸和液压流体储液罐之间。因此，当泵活塞行程到达一端之后(在加压或减压运行)、泵的控制器关闭出口阀，打开进液阀，使泵缸活塞行程相反运行到达另一端(填充或清空缸体取决于活塞被加压或减压)。VPA泵将保持精确的压力控制，包括在必要时，对小的泄漏进行补偿，或是对温度的变化引起的压力变化进行补偿。

横向压力设置点由PVC系统软件设定。压力可以设定为一个固定值，也可以将VPA泵设置为外部传感器反馈模式，在该模式下，横向应变传感器的输出作为控制回路的反馈。这使得横向压力可以调整以达到理想的应变。



技术规格：

VPA 16S-10-20-100-SS

最大压力: 10,000 psi

泵缸体积: 20 cc

体积分辨率: 0.001 cc

密封材料: Viton

最大温度: 150° C

润湿部件材质: 不锈钢

压力传感器精度: 0.1% FS

2.4 轴向压力控制系统

该系统提供了对轴向加压液体的填充、加压和排出的能力。面板上集成了一个大的压力表，操作员可以在任何时候监测系统中的轴向压力。压力传感器允许数据采集系统对压力进行监控。压力是通过一个单缸注入泵产生的。围压系统通过安全隔板来进行超压保护。

自动压力控制是通过一个单缸注入泵(相当于VPA型号16S-10-20-100-SS)提供的，注入泵缸出口连接两个阀门管汇。双阀管汇包括了气动定容阀，其中一个阀门是在注入泵缸和岩心夹持器之间，另一个阀门在注入泵缸和液压流体储液罐之间。因此，当泵活塞行程到达一端之后(在加压或减压运行)、泵的控制器的出口阀，打开进液阀，使泵缸活塞行程相反运行到达另一端(填充或清空缸体取决于活塞被加压或减压)。VPA泵将保持精确的压力控制，包括在必要时，对小的泄漏进行补偿，或是对温度的变化引起的压力变化进行补偿。

轴向压力设置点是由PVC系统软件设定的。轴向压力可以设定为一个设定值，也可以设定为按规定的速度进行增压或降压。

技术规格：

VPA 16S-10-20-100-SS

最大压力: 10,000 psi

泵缸体积: 20 cc

体积分辨率: 0.001 cc

密封材料: Viton

最大温度: 150° C

润湿部件材质: 不锈钢

压力传感器精度: 0.1% FS

2.5 压力仓内装置

随系统提供的岩心夹持器内的装置可以测量岩心横向应变、轴向应变和轴向应力。

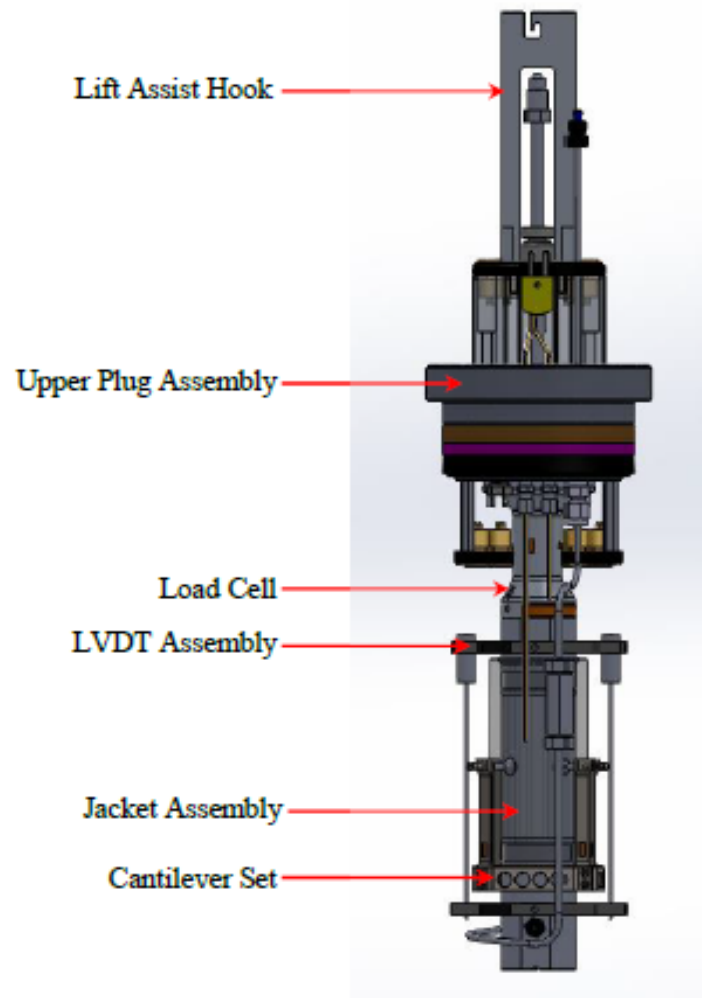


Figure 2: In Vessel Assembly

2.5.1 横向应变传感器

横向应变传感器由四个应变计悬臂安装在底座上。四个悬臂排列被配置成两组，每一组悬臂分别安装在样品的相对的两侧，这样，相对的一对悬臂的总变化量就能测量出样品直径的应变。这两组测量悬臂的角度为90度，因此两个应变测量是相互垂直的。这种排列允许测量各向异性样品在两个正交的方向上的横向应变变化。横向应变传感器组是悬吊在样品本身上的，以提供对样品应变的准确测量，而不受任何外部部件的影响。样品夹套包括模制的压铆螺母柱被安装到样品上。因此，悬臂式应变计与样品直接接触，不需要对夹套的变形进行校正。悬臂有可调节的接触手指，使悬臂可以用于直径从1.0到1.5英寸的样品。

技术规格：

最大横向应变: 10 %
应变测量相关性: 1.0% FS
独立应变测量的数量: 2

2.5.2 轴向应变传感器

轴向应变传感器组由一对LVDT安装在样品两端的端盖上组成。这两个LVDT提供了一个平均的轴向应变，并且补偿了在样品的末端不完全平行的情况下可能发生的倾斜。

轴向应变传感器与横向应变传感器相结合，提供了随着样品应力状态变化而计算体积变化的能力。

技术规格:

最大轴向应变: 15 %
应变测量相关性: 1.0% FS
独立应变测量的数量: 2

2.5.3 轴向载荷传感器

轴向载荷传感器安装在岩心夹持器内部，能够测量加载到岩心上的轴向载荷，以此确定轴向应力。压力仓内安装载荷传感器的优势是它能够直接、精确的测量岩心上的轴向载荷，并排除了在高围压状态下的密封摩擦等可能会引入大量错误的影响。或外部负载细胞用于测量。

技术规格:

最大轴向载荷: 20,000 lbs
轴向载荷测量相关性: 1.0% FS

2.6 岩心夹持器加热系统

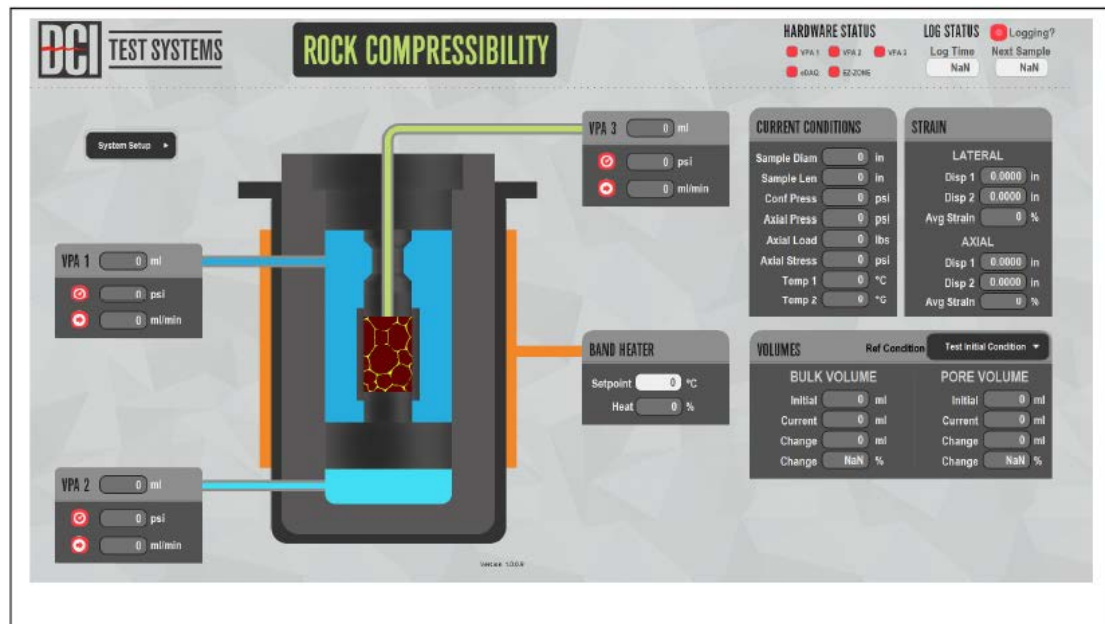
外带加热器安装在岩心夹持器上，以加热岩心夹持器及其内部部件以满足测试条件。一个数字温度控制器根据直接安装在加热器上的热电偶提供精确的温度控制和反馈。岩心夹持器内的热电偶可以监测在岩心夹持器内样品周围的封闭流体的温度。

技术规格:

最大温度: 150° C
温度控制精度: +/- 0.5° C

2.7 自动数据采集和测试控制

自动数据采集系统是一个基于pc的系统,它监视和记录并显示系统中每个传感器的数据。一个易于使用的操作界面允许操作员指定数据获取周期、数据文件名和储存位置以及其他相关参数。每个传感器的数据可以实时监控。数据作为时间的函数可以以表格或图形格式显示。操作者可以选择显示任何时间的参数。一个典型的操作界面如下图所示。操作界面被设置成允许操作员轻松识别当前系统配置,并在单个屏幕上查看所有相关数据。



采集系统可以选择获取的测试数据, 包括:

- 横向围压压力
- 轴向压力
- 轴向载荷
- 孔隙压力
- 孔隙体积变化
- 横向应变 – 两个正交单元的单个值以及两者的平均值。
- 轴向应变 – 两个传感器的单个值以及两者的平均值。
- 样品温度

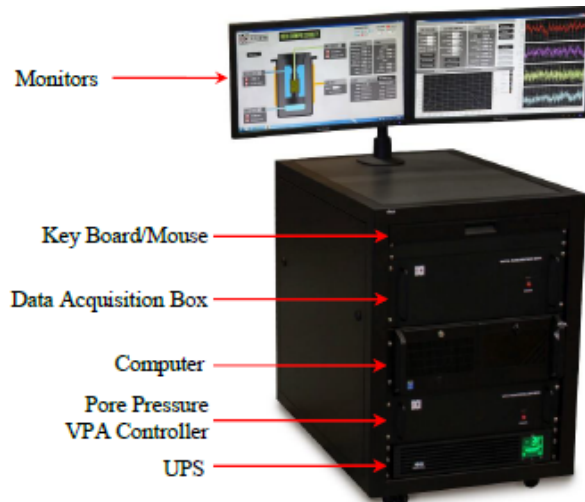
一些计算值也会实时显示给操作员。

- 孔隙体积变化 (作为原始孔隙体积的百分比)
- 总体积变化 (占原体积的百分比)

除了自动数据采集之外, 系统PC还提供了一个操作界面来设置重要的测试参数。这包括设置横向压力控制的反馈模式(横向应变反馈, 或简单的压力控制模式), 设置模式和设置点或坡度, 以实现孔隙压力和轴向应力控制, 并设置岩心夹持器温度。操作界面上设置压力和温度值的地方就是该传感器安装在系统中的位置。

该系统还包括一个测试配置文件特性，在这个特性中，操作者可以为多个测试段设置压力和温度配置文件，这样任何负载/压力/温度都可以被编程，然后由系统自动执行。

装有Windows 10专业操作系统并配有最新处理器的PC机被安装在一个的机架上。有两个22英寸LED液晶显示器和一个键盘和鼠标的用户界面。在Labview中编写了自定义数据采集和测试控制系统软件。将提供源代码以允许客户在需要时进行更改。



2.8 配件和消耗品

可以提供以下的备件和消耗品：

- (1) 岩心夹持器和VPA泵的密封件包
- (2) Viton 橡胶套筒 1.5" 直径，3英寸长
- (3) Viton 橡胶套筒 1.0" 直径，3英寸长

3.0 设备安调和培训

该系统将在一个DCI工程师的监督下在客户的设备上安装和调试。请客户人员参与安装过程中。这样的参与将有助于客户对系统有更深入的了解，从而更好地准备操作系统，并对系统进行日常维护。预计客户将提供设备，以便将系统组件移动到位，并与系统所需的公用设施(电力、压缩空气供应等)建立必要的连接。DCI安装工程师将为客户人员提供系统操作培训。预计客户人员要具有岩心分析和特殊岩心分析测试的经验，熟悉产生高压和高温的设备。一名DCI工程师将在现场停留4天，完成的系统的安装、调试和客户人员培训。作为系统安装和调试的一部分，将进行测试，以证明系统满足提案文档中概述的性能规范。

4.0 维护和服务

DCI为系统提供了一个可选的年度维护合同。该AMC包括对维护 and 操作问题的无限制的电话和电子邮件支持。此外，它还包括对系统进行例行维护的年度维护访问，并执行可能需要的任何修复。在需要修理的情况下，在进行任何修理之前，将提供所需部件的报价。如果购买了AMC，系统软件的任何更新都将免费提供。