

(一) 总体要求:

- ▲1. 基础模块要求: 设备轴向加载能力 $\geq 4600\text{kN}$, 围压和孔压加载能力 $\geq 200\text{MPa}$, 压力室内部温度控制: 室温 $\sim 300^{\circ}\text{C}$, 可容纳岩心直径 $25\sim 65\text{mm}$, 长度 $\geq 100\text{mm}$ 。压力室可容纳真三轴试验装置, 具备高温高压三轴试验功能。
- 2. 至少满足 ISRM2008 标准、ASTM2845 标准、DZ/T 0276 标准中的两项标准关于岩石三轴试验所有的要求。
- 3. 能够完成应力控制动态分级加载疲劳试验。
- 4. 能够完成动态分级加载破坏试验, 需提供分级加载测试过程中力、位移等数据。
- 5. 具备岩石流变测试功能(蠕变、松弛)。
- 6. 具备高温、高压下岩石三轴波速(双 S 波, 单 P 波)测试功能。
- 7. 具备岩石径向波速各向异性测试功能, 并能确定岩石的主应力方向。
- 8. 具备岩石断裂韧性试验功能, 实现轴向及裂缝扩张位移测试, 裂缝张开位移测量。
- 9. 具备高应力条件下岩石水压致裂试验功能。
- 10. 具备稳态法岩石渗流测试功能。
- 11. 压力室集成全自动液压提升和密封装置, 一键实现压力室自动密封。
- ▲12. 功能模块: 配置高温高压岩石三维声发射测试模块、快速脉冲衰减渗透测试模块、电阻率测试模块、断裂韧性测试模块, 能实现深层地应力、高温高压声波、三轴低渗透和岩石三轴等力学测试。
- 13. 岩石三轴三维声发射测试功能(高温高压), ≥ 12 通道。
- 14. 快速脉冲衰减渗透测试功能: 测量低渗材料(岩石等)的液体或气体的渗透率。
- 15. 岩石电阻率测试功能: 具有试样的电阻率测量等。
- ▲16. 试验机控制软件能满足设备控制及数据采集、记录、处理、绘图, 并具备远程监测的功能。
- 17. 具备抗拉强度测试功能。
- 18. 能够完成 ≥ 700 小时的无间断三轴压缩分级蠕变试验。

(二) 详细技术参数:

- 1、高刚度门式加载架

1.1 加载方式：数字式电液伺服闭环控制，左右两侧为高强度钢板，配置钢化玻璃门，具备关门后才可进行试验的保护装置，能实现位移、应力、应变控制，紧急情况一键锁死功能。

1.2 机架刚度： $\geq 10\text{MN/mm}$ 。

1.3 最大静态加载力： $\geq 4600\text{kN}$ 。

1.4 最大动态加载力： $\geq 2300\text{kN}$ 。

▲1.5 法向压差式荷载传感器量程： $\geq 4600\text{kN}$ ，精度 $\leq 0.25\%$ ，耐压 $\geq 200\text{MPa}$ ，耐温 $\geq 300^\circ\text{C}$ 。

1.6 加载行程： $\geq 50\text{mm}$ ，位移精度： $\leq 0.25\%$ 。

1.7 法向动态加载频率： $\geq 20\text{Hz}$ 。

1.8 动态循环加载次数： ≥ 10 万次。

1.9 加载速度 $\geq 800\text{mm/min}$ 。

2、内嵌岩石真三轴试验装置

▲2.1 数字式电液伺服控制，可独立控制三向主应力（ $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ） 或者三向主应变（ $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ ）；提供内嵌岩石真三轴试验装置的实物照片。

2.2 三向主应力 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 均为刚性加载；

2.3 试样尺寸： $\geq 50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ 。

2.4 液压加载最大主应力（ σ_1 ）： $\geq 800\text{MPa}$ 。

2.5 液压加载中主应力（ σ_2 ）： $\geq 70\text{MPa}$ 。

2.6 液压加载最小主应力（ σ_3 ）： $\geq 70\text{MPa}$ 。

2.7 三个方向应变测量：配备 ≥ 6 支传感器，传感器量程： $\pm 2.5\text{mm}$ ，传感器精度： $\leq 0.25\%$ ，传感器耐压： $\geq 200\text{MPa}$ ，传感器耐温： $\geq 300^\circ\text{C}$ 。

3、压力室

▲3.1 压力室采用不锈钢材质，耐温： $\geq 300^\circ\text{C}$ ，围压承压： $\geq 200\text{MPa}$ 。

3.2 承压： $\geq 4600\text{kN}$ 。

3.3 耐高温高压四针电子通孔接头： ≥ 12 个，可拆卸，每个接头可作为一个荷载、位移传感器通道或超声波测试等试验模块数据传输。其中至少有 2 个通道具有可变换光纤测量引入功能；需提供光纤应变传感器接入压力室底座通道上的照片。

▲3.4 压力室底座：常规 200℃ 高温高压压力室底座和超高温 300℃ 压力室底座各 1 套。

4、压力室全自动密封及自动提升装置

▲4.1 压力室集成全自动密封装置；一键关闭压力室，即可实现自动密封，每小时/每分钟泄压不超过 0MPa。压力室配备滑动底座、压力室自动液压提升装置。提供一键实现压力室自动密封的实物照片，并图文说明自动密封过程。

5、高温高压轴向&径向变形测量装置

5.1 温度 $\geq 200^{\circ}\text{C}$ ，压力 $\geq 200\text{MPa}$ 轴向和径向变形测量装置 1 套，传感器量程： $\pm 2.5\text{mm}$ ，精度 $\leq 0.25\%$ 。

▲5.2 温度 $\geq 300^{\circ}\text{C}$ ，压力 $\geq 200\text{MPa}$ 轴向和径向变形测量装置 1 套，传感器量程： $\pm 2.5\text{mm}$ ，精度 $\leq 0.25\%$ 。

6、围压增压/体积控制器

6.1 压力： $\geq 200\text{MPa}$ ，分辨率： $\leq 0.01\text{MPa}$ 。

6.2 体积： $\geq 560\text{mL}$ ，分辨率： $\leq 0.01\text{mL}$ 。

6.3 配备增压器控制面板模拟压力表，压力表量程 $\geq 200\text{MPa}$ 。

7、孔压增压/体积控制器

▲7.1 压力： $\geq 200\text{MPa}$ ，分辨率： $\leq 0.01\text{MPa}$ 。

7.2 体积： $\geq 280\text{mL}$ ，分辨率： $\leq 0.005\text{mL}$ 。

7.3 配备增压器控制面板模拟压力表，压力表量程 $\geq 200\text{MPa}$ 。

8、温控系统

8.1 温度 $\geq 300^{\circ}\text{C}$ ，温控精度： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

9、液压源

9.1 流量： $\geq 38\text{LPM}$ ，功率： $\geq 15\text{kW}$ 。

9.2 液体输出压力： $\geq 21\text{MPa}$ 。

9.3 配备：油温指示器，过滤器（ $\leq 3\mu\text{m}$ ），压力表，阀门等。

9.4 具备热保护和低液面保护功能。

9.5 液压站要求可远程控制，可在软件中提示开/关、油温、油位、油压报警。

10、数字伺服控制器和采集系统

10.1 处理器：主频 $\geq 3.4\text{GHz}$ ；RAM $\geq 32\text{G}$ ；固态存储器 $\geq 2\text{T}$ ；显存 $\geq 16\text{G}$ ；显示器分辨率： $\geq 1080\text{P}$ ，数量 ≥ 2 。

10.2 控制器分辨率： ≥ 24 位。

10.3 系统闭环反馈速率： $\geq 10\text{kHz}$ 。

10.4 通道间转换速率： $\geq 250\text{kHz}$ 。

10.5 通讯方式：TCP/IP 或 USB 或 WIFI。

10.6 能自动识别传感器。

10.7 系统能在外界突然停电状态下可保存数据及自我保护装置，过载保护、行程极限保护、温度保护等功能。

11、软件

11.1 可以施加包括线性加载、正弦、三角波、矩形波、随机波和用户自定义波形，自定义波形文件 ≥ 4000 个数据点。

11.2 可自定义动态和静态测试任务。

12、远程监测器

12.1 不接受 PLC 控制器。

12.2 远程监测器主机：存储容量 $\geq 64\text{G}$ 。

12.3 远程软件：预装投标产品制造商同品牌的专业 APP 软件（制造商自主研发的软件，非第三方软件），可实现数字或者图形化实时显示。

13、断裂韧性试验装置

13.1 荷载传感器量程： $\geq 25\text{kN}$ ，精度： $\leq 0.25\%$ 。

13.2 配有轴向及裂缝扩张位移测试装置 COD 引伸计；需提供断裂韧性试验装置整体安装在岩石三轴的实物照片，并进行真三轴装置原理说明。

13.3 裂缝张开位移范围： $\geq 3.5\text{mm}$ 。

13.4 配备 ≥ 2 个传感器，位移精度： $\leq 0.25\%$ 。

14、高温高压超声波测试系统

14.1 模拟输入通道 ≥ 8 个，可穿透岩石、混凝土试样，自动测量压缩波（P 波）和剪切波（双 S 波）的波速。

14.2 程控数据采集系统：采样率 $\geq 40\text{MHz}$ ，脉冲器和接收器自动选择 P 波和 S 波，带有软件，可自动进行波速测量，输出数据可以兼容 Excel 或其他程序。

14.3 脉冲上升时间： $\leq 5\text{ns}$ 。

14.4 分辨率： ≥ 16 位；接收器带宽： $\geq 10\text{MHz}$ 。

14.5 超声波压头（传感器）：支持高温高压三轴力学和超声波同时进行测试，耐围压： $\geq 200\text{MPa}$ ，耐温： $\geq 200^\circ\text{C}$ 。

14.6 超声波压头直径 $\geq 50\text{mm}$ ，配备 $\geq 1\text{MHz}$ 频率压缩模式晶体和剪切模式偏振晶体。

15、径向波速各向异性测试系统

15.1 用于测量岩石的主应力方向，适用尺寸 $\phi 25\text{mm}-\phi 100\text{mm}$ ，高度： $\geq 200\text{mm}$ 。

15.2 超声波传感器：P 波和 S 波。

15.3 可测量试件主应力方位角。

15.4 配备气动作动器，自动将传感器夹紧到试件上。

15.5 晶体频率： $\geq 1\text{MHz}$ 。

16、传感器数字校准器

16.1 不旋转的安装在轴承导轨的块体，行程 $\geq 25\text{mm}$ ，分辨率 $\leq 0.001\text{mm}$ 。

17、水压致裂模块

17.1 水压致裂模块：直径 $\geq 50\text{mm}$ 、高度 $\geq 100\text{mm}$ ，水压致裂专用适配器，用于完成岩石水压致裂试验。

18、高温高压岩石三维声发射测试模块

18.1 声发射（高温高压） ≥ 8 通道。

18.2 工作温度： $\geq 200^\circ\text{C}$ 。

18.3 工作围压： $\geq 200\text{MPa}$ 。

18.4 声发射传感器安装于压力室内，可实现高温高压条件下的声发射三维成像分析。传感器与岩样接触面贴合，对岩石内部出现裂隙产生的声发射点进行定位，对声发射的能量、幅值进行记录，进行三维成像分析，从而分析岩石裂隙的发育过程。

18.5 多通道声发射信号处理，每个通道采样速率： $\geq 10\text{MSPS}$ ，分辨率： ≥ 16 位。

18.6 前置放大器，可以切换增益， $\geq 10-1200\text{kHz}$ 的滤波带宽和低噪音。

19、快速脉冲衰减渗透测试装置

19.1 快速脉冲衰减渗透测试功能：测量低渗材料（岩石等）的液体或气体的渗透率，用快速脉冲衰减法测量渗透率，最大渗透压力 $\geq 20\text{MPa}$ 。

19.2 测量低渗材料的液体或气体的渗透率。

19.3 用快速脉冲衰减法测量渗透率。

19.4 不锈钢容器： ≥ 2 个（容积 100mL）， ≥ 2 个（容积 5mL）。

19.5 零体变球阀 ≥ 15 个。

19.6 压力传感器 1 个和压差传感器 1 个。

20. 抗拉强度测试装置

20.1 抗拉强度测试装置试样直径 $\geq 50\text{mm}$ ，高度 $\geq 25\text{mm}$ 。

21、岩石电阻率装置

21.1 岩石电阻率测试功能：试样的电阻率测量等，最大压差载荷 $\geq 25\text{MPa}$ ，耐围压： $\geq 70\text{MPa}$ ，耐高温： $\geq 150^\circ\text{C}$ ；电阻率试验： $\phi 25\text{mm}$ 、 $\phi 50\text{mm}$ ，长度 $\geq 100\text{mm}$ ；电阻率的压头安装在岩石三轴压力室内部，进行围压下的岩石电阻率测试。

21.2 测试电阻，电感和电容，精度 $\leq 0.1\%$ ，可进行直流电压或电流、交流电压或电流测试。

22、试验附件

22.1 直径 50mm 三轴试验附件一套，采用不锈钢材质，带有孔压通道和球形加载。

22.2 直径 25mm 三轴试验附件一套，采用不锈钢材质，带有孔压通道和球形加载。

23、备品备件

23.1 $\Phi 50\text{ mm}$ 、 $\Phi 25\text{ mm}$ 热缩管 10 米。

23.2 压力室密封件 1 套：石墨密封圈，提供密封圈实物照片和安装在压力室底座的照片并进行说明，石墨密封圈用于进行压力室的一键密封，无需紧固任何螺丝。

24、国内配套

24.1 无油静音空气压缩机一台，噪音值 $\leq 60\text{dB}$ 。

24.2 液压油一桶（ $\geq 200\text{L}$ ）。

24.3 围压油（硅油）一桶（ $\geq 25\text{L}$ ）：工作围压： $\geq 200\text{MPa}$ ，工作温度： $\geq 300^\circ\text{C}$ （体积）。

24.4 热风枪一把。

25、维修工具：随机专用工具一套。

26、升级扩展功能及接口：设备必须具备可升级拓展功能，并预留升级接口，如差应变分析试验模块等。

（三）配置要求

- 1、高刚度门式加载架 1 套；
- 2、内嵌岩石真三轴试验装置 1 套；
- 3、压力室 1 套；
- 4、压力室全自动密封及自动提升装置 1 套；
- 5、高温高压轴向&径向变形测量装置 1 套；
- 6、围压增压/体积控制器 1 套；
- 7、孔压增压/体积控制器 1 套；
- 8、温控系统 1 套；
- 9、液压源 1 套；
- 10、数字伺服控制器和采集系统 1 套；
- 11、软件 1 套；
- 12、远程监测器 1 套；
- 13、断裂韧性试验装置 1 套；
- 14、高温高压超声波测试系统 1 套；
- 15、径向波速各向异性测试系统 1 套；
- 16、LVDT 传感器数字校准器 1 个；
- 17、水压致裂模块 1 套；
- 18、高温高压岩石三维声发射测试模块 1 套；
- 19、快速脉冲衰减渗透测试装置 1 套；
- 20、抗拉强度测试装置 1 套；
- 21、岩石电阻率装置 1 套；
- 22、试验附件 1 套；
- 23、备品备件 1 套。