



中华人民共和国国家标准

GB/T 40961—2021

岩石三轴试验仪校验方法

Calibration methods of rock triaxial testing apparatus

2021-11-26 发布

2022-06-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 校验性能	2
4.1 加载装置	2
4.2 载荷指示装置	2
4.3 引伸计	2
5 校验方法	2
5.1 校验器具	2
5.2 校验环境条件	3
5.3 校验前的检查	3
5.4 加载装置校验	3
5.5 载荷指示装置校验	3
5.6 引伸计校验	5
6 校验结果与校验周期	5
6.1 校验结果	5
6.2 校验周期	5
附录 A (资料性) 岩石三轴试验机校验常用的符号、单位及说明	6
附录 B (资料性) 岩石三轴试验机校验记录格式	7
附录 C (资料性) 岩石三轴试验机校验合格证书格式和校验结果通知书格式	9



前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国水利部提出并归口。

本文件起草单位：长江水利委员会长江科学院、中国科学院武汉岩土力学研究所、武汉理工大学、成都东华卓越科技有限公司、长春市错策试验仪器有限责任公司。

本文件主要起草人：朱杰兵、邬爱清、周辉、章光、郭国庆、汪斌、郑郢、刘小红、王鑫。



岩石三轴试验仪校验方法

1 范围

本文件描述了岩石三轴试验仪校验性能、校验方法、校验结果与校验周期。

本文件适用于轴向额定载荷为 500 kN~5 000 kN、侧向额定载荷为 20 MPa~150 MPa 的岩石三轴试验仪校验。岩石三轴蠕变试验仪校验参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2611—2007 试验机 通用技术要求

GB/T 36416.1 试验机词汇 第1部分:材料试验机

JJF 1096 引伸计标定器校准规范

JJG 762 引伸计

3 术语和定义

GB/T 36416.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

岩石三轴试验仪 rock triaxial testing apparatus

三轴仪

等侧向压力($\sigma_2 = \sigma_3$)的三向应力状态下,测试岩石试件强度和变形特性的试验机。

注:由轴向、侧向加载装置、载荷指示装置及变形测量装置组成,三轴仪校验常用的符号、单位及说明见附录 A。

3.2

引伸计 extensometer

三轴仪对岩石试件施加载荷时,由变形传感器和变形显示单元组成的试件变形测量装置。

3.3

分辨力 resolution

能有效辨别的试验机指示装置指示值间的最小差值。

[来源:GB/T 36416.1—2018,6.40]

3.4

标准测力仪 standard dynamometer

检定、校验、比对、传递标准力值的测力仪器。

3.5

分度值 divisionvalue

指示装置标尺相邻两刻线所代表的量值之差。

4 校验性能

4.1 加载装置

4.1.1 压板工作表面光滑、平整,表面粗糙度不大于 $0.80\ \mu\text{m}$,压板洛氏硬度不小于 55 HRC。

4.1.2 上下压板中心线与轴向载荷框架中心线重合。

4.1.3 压板与球面支承之间灵活可调。

4.1.4 当加载装置的横梁移动到极限位置时,安全装置立即启动。

4.2 载荷指示装置

4.2.1 载荷指示装置具有校正、清零功能,在卸除试验力后,载荷指示值可回零位。

4.2.2 保持三轴仪轴向额定载荷及侧向压力额定载荷的时间不少于 30 s,在此期间的载荷示值变动范围不超过 $0.2\%FS$ 。

4.2.3 模拟式指示装置的三轴仪校验等级选择 1 级或 2 级;数字式指示装置的三轴仪校验等级选择 0.5 级或 1 级。不同校验等级的三轴仪载荷允许误差符合表 1 的规定。

表 1 三轴仪载荷允许误差

三轴仪校验等级	最大允许值/%				
	示值相对误差 q	示值重复性 相对误差 b	示值进回程 相对误差 u	零点相对误差 f_0	相对分辨力 α
0.5	± 0.5	0.5	± 0.75	± 0.05	0.25
1	± 1.0	1.0	± 1.5	± 0.10	0.50
2	± 2.0	2.0	± 3.0	± 0.20	1.00

4.3 引伸计

4.3.1 引伸计外观质量、显示与输出应符合 JJG 762 的规定。

4.3.2 引伸计有调零或清零功能,校验过程中能连续显示试件变形量。

4.3.3 变形测量有效测量范围为 $2\%FS\sim 100\%FS$ 。

4.3.4 引伸计校验精度等级及允许误差符合表 2 的规定。

表 2 引伸计允许误差

引伸计精度等级	标距相对误差 q_{1c} %	示值误差	
		绝对误差 q'_e μm	相对误差 q_e %
0.5	± 0.5	± 2.0	± 0.5
1	± 1.0	± 3.0	± 1.0

5 校验方法

5.1 校验器具

5.1.1 三轴仪校验仪器、工具、量具和检具应通过检定或校准,并应在有效期内。

5.1.2 校验器具应包括下列内容。

- a) 0.1 级或 0.3 级标准测力仪；0.5 级三轴仪应使用 0.1 级标准测力仪，1 级、2 级三轴仪应使用 0.3 级标准测力仪。测力仪的最大量程不应小于轴向额定载荷的 1.2 倍。
- b) 0.05 级标准数字压力计；压力计的最大量程不应小于侧向额定压力的 1.2 倍。
- c) 表面粗糙度测试仪。
- d) 洛氏硬度计。
- e) 引伸计标定器，计量特性应符合 JJF 1096 的规定。
- f) 分辨力 0.01 s 的秒表。
- g) 玻璃温度计，量程 50 °C、分度值 0.1 °C。
- h) 标准试件：黄铜或弹簧钢制作，直径可为 $\phi 50$ mm、高度可为 100 mm。
- i) 通用量具及检具。

5.2 校验环境条件

三轴仪校验的环境与工作条件如下：

- a) 室温 10 °C ~ 35 °C 范围内，相对湿度不大于 80%；
- b) 工作环境清洁，周围无震动、无腐蚀性介质，无强电磁干扰。

5.3 校验前的检查

5.3.1 按照 GB/T 2611—2007 中第 8 章的规定检查三轴仪的活塞、油缸、阀门、管线接头等部位，不应有裂纹、划伤及渗漏油等异常现象。

5.3.2 对压板的硬度及表面粗糙度进行检测，内容如下：

- a) 采用洛氏硬度计检测压板洛氏硬度，上下压板上的硬度校验点均不应少于 3 个，检测的硬度值取 3 次测值的平均值；
- b) 采用表面粗糙度测试仪检测压板表面粗糙度，上下压板的检测次数均不应少于 3 次，检测的压板表面粗糙度值取 3 次测值的平均值；
- c) 三轴仪的首次校验应进行压板硬度检测，后续校验、使用中及维修后的校验可不进行。

5.4 加载装置校验

5.4.1 开启电源，启动三轴仪，在下压板的居中位置依次放入标准试件、标准测力仪及钢垫块，把三轴室液压油管连接到标准数字压力计上。

5.4.2 上升工作台，使上下压板靠近并预压标准试件。观察上下压板中心线与轴向载荷框架的对中情况，目测压板的球面支承是否灵活，能否能够自动调平。

5.4.3 把三轴仪横梁上升到极限位置，限位装置应立即启动，使其停止移动。

5.5 载荷指示装置校验

5.5.1 载荷指示装置的分辨力的确定方法如下所示。

- a) 对于模拟式载荷指示装置，分辨力为指针宽度与分度值的比值，宜为 1 : 5 或 1 : 10。分辨力为分度值的 1/10 时，刻度间隔不应小于 2.5 mm。
- b) 对于数字式载荷指示装置，当三轴仪电机、驱动装置和控制系统均启动且零试验力时，数字示值变动不大于一个增量时，分辨力为一个增量；数字示值变动大于一个增量时，分辨力为示值变动范围的一半加上一个增量。

5.5.2 载荷指示装置的相对分辨力确定方法如下：

宜选择 20% 额定载荷值的校验点来确定相对分辨力，相对分辨力应按公式(1)计算。

$$\alpha = \frac{r}{F_r} \times 100 \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中：

- α —— 载荷指示装置相对分辨力，%；
- r —— 载荷指示装置的分辨力；
- F_r —— 判定相对分辨力 α 时选定的载荷校验点。

5.5.3 载荷指示装置的示值校验步骤如下所示。

- a) 轴向和侧向载荷指示装置的示值校验应分别进行。
- b) 对模拟式指示装置，校验点不宜少于 5 个，可从各级标度盘额定值的 20% 开始至最大值均匀分布，即为标度盘最大示值的 20%、40%、60%、80%、100% 处。对于数字式指示装置，校验点不宜少于 7 个，可从额定载荷的 4% 开始布置校验点，选择的校验点宜为额定载荷的 4%、10%、20%、40%、60%、80%、100% 处。
- c) 应按照选定的校验点逐级加载至最大值，再沿既定各点逐级卸载至零，每个标度盘(或数字式指示装置)示值校验不应少于 3 次。
- d) 对校验等级为 0.5 级、1 级的三轴仪，宜在第二次及第三次轴向载荷校验时，将标准测力仪沿着水平方位分别旋转 90° 及 180°。
- e) 载荷指示装置示值相对误差、示值重复性相对误差、示值进回程相对误差应按公式(2)~公式(4)计算。

示值相对误差：

$$q = \frac{\overline{F_i} - F}{F} \times 100 \quad \dots\dots\dots(2)$$

示值重复性相对误差：

$$b = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\overline{F_i}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3)$$

示值进回程相对误差：

$$u = \frac{F'_i - F_i}{F} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

- q —— 载荷指示装置的示值相对误差，%；
- b —— 载荷指示装置的示值重复性相对误差，%；
- u —— 载荷指示装置的示值进回程相对误差，%；
- F —— 标准测力仪进程各校验点示值；
- F_i —— 加载进程中校验点示值；
- F'_i —— 卸载回程中校验点示值；
- $\overline{F_i}$ —— 加载进程时同一校验点 3 次示值的平均值；
- F_{\max} —— 进程校验时，同一校验点的 3 次示值中的最大值；
- F_{\min} —— 进程校验时，同一校验点的 3 次示值中的最小值。

5.5.4 载荷指示装置零点相对误差的校验方法如下：

- a) 当校验回程完全卸载后，记录载荷指示装置显示的残余示值；
- b) 零点相对误差应按公式(5)计算。

$$f_0 = \frac{F_0}{F_L} \times 100 \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中：

f_0 ——载荷指示装置零点相对误差，%；

F_0 ——卸载后载荷指示装置的残余示值；

F_L ——载荷指示装置各标度盘(或数字式指示装置)额定值。

5.5.5 施加三轴仪的轴向载荷及侧向压力至额定值，当示值趋于稳定后，用秒表计时载荷保持时间不少于 30 s，并记录载荷保持期间内载荷示值变动范围。

5.5.6 在轴向及侧向的加卸载操作全过程中，观察加卸载过程压力变化过程是否平稳，载荷指示装置的变化是否连续，无跳动等异常现象。

5.5.7 观察载荷指示装置的清零及调零功能是否正常，卸除荷载后，观察载荷指示装置的指数值的复位情况。

5.6 引伸计校验

5.6.1 目测检查引伸计的外观质量、显示与输出，经检查符合要求后再检查其他项目。

5.6.2 引伸计校验过程应按 JJG 762 执行。

6 校验结果与校验周期

6.1 校验结果

6.1.1 新购置的三轴仪首次校验，所有项目经校验合格后，检验单位发给校验合格证书；后续校验、使用中和维修后的三轴仪经校验符合准用条件的，由检验单位发给校验合格证书，校验合格证书后应附校验记录和校验报告；检验合格证书内应注明三轴仪的校验等级。

6.1.2 校验结果不符合表 1 及表 2 内的指标要求时，视为校验不合格，发给校验结果通知书，并注明不合格项。

6.1.3 三轴仪校验记录格式见附录 B，三轴仪校验合格证书格式和校验结果通知书格式见附录 C。

6.2 校验周期

6.2.1 三轴仪每年至少校验 1 次，设备停用超过 6 个月或维修后，在使用前均应进行校验。

6.2.2 设备使用频率较高时，宜适当缩短校验周期。

附录 A

(资料性)

岩石三轴试验机校验常用的符号、单位及说明

表 A.1 给出了文件中常用的符号、单位及说明。

表 A.1 文件中常用的符号、单位及说明

符号	单位	说 明
α	%	载荷指示装置相对分辨力
b	%	载荷指示装置示值重复性相对误差
F	N(MPa)	标准测力仪进程各校验点示值
F_i	N(MPa)	载荷指示装置加载进程中校验点示值
F'_i	N(MPa)	载荷指示装置卸载回程中校验点示值
$\overline{F_i}$	N(MPa)	加载进程时同一校验点 3 次示值的平均值
F_0	N(MPa)	卸载后载荷指示装置的残余示值
F_{imax}	N(MPa)	进程校验时,同一校验点的 3 次示值中的最大值
F_{imin}	N(MPa)	进程校验时,同一校验点的 3 次示值中的最小值
F_L	N(MPa)	载荷指示装置各标度盘或数字式指示装置额定值
F_r	N(MPa)	判定相对分辨力 α 时选定的载荷校验点
f_0	%	载荷指示装置零点相对误差
q	%	载荷指示装置的示值相对误差
q_e	%	引伸计示值相对误差
q'_e	μm	引伸计示值绝对误差
q_{le}	%	引伸计标距相对误差
r	N(MPa)	载荷指示装置的分辨力
u	%	载荷指示装置的示值进回程相对误差

附录 B

(资料性)

岩石三轴试验仪校验记录格式

表 B.1 给出了三轴仪载荷校验记录表,表 B.2 给出了引伸计校验记录表。

表 B.1 三轴仪载荷校验记录表

制造商名:	型号规格:	出厂编号:
出厂级别:	被校单位:	检验地址:
校验日期:	校验环境温度:	校验湿度:
测力仪等级:	测力仪编号:	测力仪证书编号:
压力计等级:	压力计编号:	压力计证书编号:

外观		压板粗糙度	压板硬度	分辨力	相对分辨力	零点残余示值	压力 30 s 保持					
分类	最大校验 载荷	校验点	加载进程				卸载回程					
			1	2	3	均值	1	2	3	均值		
轴向 载荷/kN											
											
侧向 载荷/MPa											
											
备注												

校验:

复核:

表 B.2 引伸计校验记录表

制造商名称：
 出厂精度等级：
 校验日期：
 标定器名称：

型号规格：
 最大变形量：
 校验温度：
 标定器编号：

出厂编号：
 校验范围：
 校验湿度：
 标定器证书编号：

外观	有效范围			分辨力/ μm		
标距/mm	标距测量值/mm			标距相对误差/%		
标定器示值/ mm	引伸计示值/mm			引伸计示值误差		
	1	2	3	绝对误差/ μm		相对误差/%

配套三轴仪名称：

结论：

校验：

复核：

附录 C

(资料性)

岩石三轴试验仪校验合格证书格式和校验结果通知书格式

表 C.1 给出了三轴仪校验合格证书封面格式,表 C.2 给出了三轴仪校验合格证书内页格式(载荷),表 C.3 给出了岩石三轴试验仪校验合格证书内页格式(引伸计),表 C.4 给出了三轴仪校验结果通知书格式。

表 C.1 三轴仪校验合格证书封面格式


<p>岩石三轴试验仪</p> <h2 style="margin: 0;">校 验 合 格 证 书</h2> <p style="margin: 20px 0 0 0;">编号: _____</p> <p>使用单位 _____</p> <p>型 号 _____</p> <p>制造商名 _____</p> <p>出厂编号 _____</p> <p>校验结果 _____</p> <p>_____</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"> <div style="width: 60%;"> <p>校验日期 年 月 日</p> <p>有效期至 年 月 日</p> </div> <div style="width: 35%;"> <p style="text-align: right;">  校验人 _____ 年 月 日 审核人 _____ 年 月 日 批准人 _____ 年 月 日 </p> </div> </div>	
---	--

表 C.2 三轴仪校验合格证书内页格式(载荷)

外观		压板粗糙度	压板洛氏硬度	零点相对误差/ %	相对分辨力/ %	压力 30 s 保持	
分类	最大试验力	校验点	示值相对误差/ %	示值重复性误差/ %	示值进回程相对 误差/%		
轴向载荷/kN							
侧向载荷/MPa							

表 C.3 三轴仪校验合格证书内页格式(引伸计)

外观					分辨力/ μm				
出厂精度等级					校验范围/mm				
标距/mm		标距最大相对误差/%			示值最大误差				
					相对误差/%			绝对误差/ μm	
标定器示值/ mm	引伸计示值/mm			引伸计示值误差					
	1	2	3	绝对误差/ μm			相对误差/%		
结论:									

表 C.4 岩石三轴试验仪校验结果通知书格式

岩石三轴试验仪
校验结果通知书

编号：

使用单位 _____

型 号 _____

制造商名 _____

出厂编号 _____



经校验，项技术指标不符合要求。

校验人 _____ 年 月 日

审核人 _____ 年 月 日

批准人 _____ 年 月 日

校验日期 年 月 日