

混凝土多轴性能试验装置

王旭虹¹,陈玉泉²,汪基伟²

(1.上海市嘉定区住宅发展局,上海 201800;2.河海大学土木工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 在 5 000 kN 压力机的基础上研制了一套混凝土多轴性能试验装置.该装置可进行平面应力、平面应变以及一般三轴荷载等不同应力组合的混凝土强度和变形试验,并可适应多种试件形式.

关键词 混凝土 试验装置 三轴荷载 应力组合

中图分类号 :TU502 ;TU528

文献标识码 :A

文章编号 :1000-1980(2003)03-0307-03

在各类混凝土结构中,混凝土极少处于单轴受压或受拉应力状态,一般都处于多轴应力状态,如双向板、剪力墙、核反应堆的压力容器和安全壳、拱坝等结构均处于多轴应力状态.混凝土强度和应力-应变曲线是混凝土结构设计与有限元计算的基础,关系到设计是否安全经济、有限元计算结果是否合理.因而,混凝土多轴应力状态性能的研究是有意义的.

试验设备是混凝土多轴性能试验成败的关键因素之一,由于混凝土多轴试验的复杂性,至今没有混凝土多轴试验装置的制造标准.国外从 20 世纪 60 年代开始研制混凝土多轴试验装置,国内自 80 年代初起也有少数科研院所相继研制出了混凝土多轴试验装置,并取得了较好的试验成果^[1].本文在总结已有经验的基础上,利用 5 000 kN 压力机研制了一套混凝土多轴性能试验装置.

1 试验装置的组成

1.1 加载装置

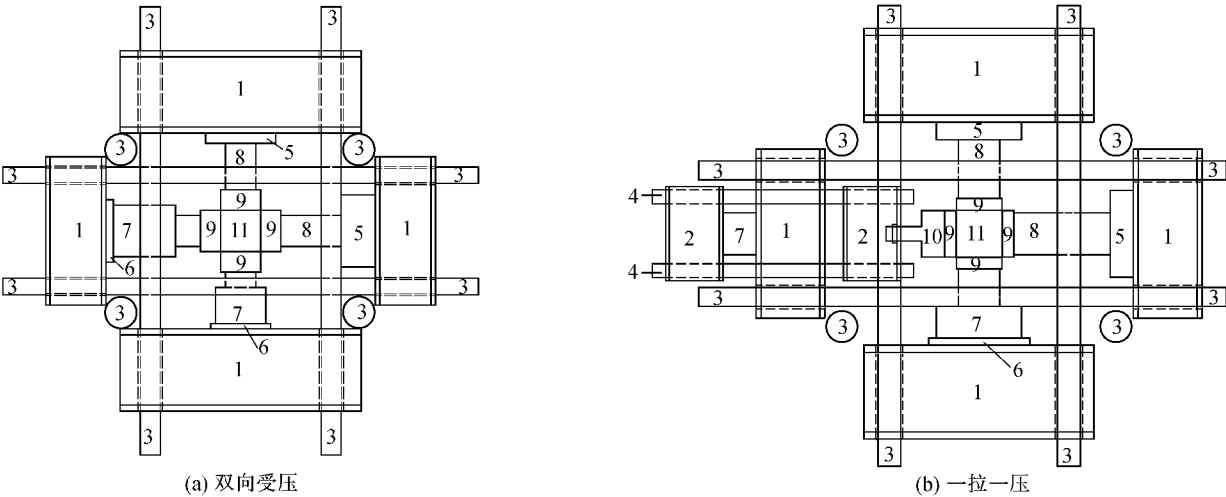
加载装置包括承载框架、液压缸、加载头和加压泵等.两个水平方向的承载框架基本相同,都由 4 根直径为 100 mm 的丝杠与两端的承载板组成.一端的承载板上安装有过渡板与液压缸,液压缸上装有和试件连接的加载头,每个液压缸通过导油管分别和相应的加压泵连接用以施加压力;另一端与之相似,只是以传感器代替了液压缸.当某一方向需要施加拉力时,在该方向的一端承载板两侧安装拉力承载板,一侧的拉力承载板和原承载板之间安装液压缸,另一侧的拉力承载板和试件之间用装有球铰的拉力加载头连接,两侧的拉力承载板用 4 根直径为 15 mm 的拉力杆连接;当液压缸加压时,通过拉力杆的作用使得另一侧的拉力承载板获得对试件的反向拉力,见图 1(a).竖向加载装置由原有 5 000 kN 压力机改造而成,由 4 根直径为 120 mm 的丝杠支撑压力机以及数据自动采集仪组成,见图 1(b).

在 5 000 kN 压力机的工作平台上安装水平滑道,相互正交的两个水平方向承载框架通过安装在承载板底部的滑轮支撑在水平滑道上,这样可保证 3 个方向的加载装置相互独立,水平加载装置在水平滑道上自由移动,从而使得试件均匀受力.

1.2 荷载量测装置

在已有的混凝土多轴试验设备中,较多的是在油路系统中设置液压传感器,由测定的油压值计算荷载值.但是,液压油由油泵和增压器的升压,经导油管和阀门时有油压损失,各处的油压并非恒定值,而且还需要扣除加载活塞和油缸壁之间以及密封圈等处的摩阻力.因此液压缸的最终油压所产生的推动力并不完全是施加于试件上的有效荷载值.用量测液压的方法来确定施加在试件上的荷载,并非理想方案^[2].

本试验装置,水平荷载的量测由安装在承载框架上的拉压传感器实现,传感器通过加载头和试件直接连



1—承载板 2—拉力承载板 3—丝杠 4—拉力杆 5—垫板 6—过渡板；
7—液压缸 8—荷载传感器 9—加载头 10—装有球铰的拉力加载头 11—试件

图 1 水平方向加载装置装配图

Fig.1 Experimental apparatus for horizontal loading of compressive stress

接,当液压缸加压时,传感器的读数即为施加在试件上的净荷载值,不必考虑液压损失.竖向荷载由 5 000 kN 压力机的采集系统自动完成.

1.3 应变量测装置

混凝土多轴试验中 3 个方向的荷载值或主应力值及应变值是最主要的量测项目,其中应变的量测较为困难.有些研究者采用在试件表面预留浅槽,内贴电阻应变片的办法量测应变,这不仅影响试件的性能,且在试件开裂、变形过程中,应变片可能被破坏^[3,4];也有些研究者采用在钢板加载头和减摩垫层的中心开圆孔,将位移传感器的触头直接和试件表面接触量测应变的方法,但此种方法在高应力状态下,圆孔处的混凝土向外挤出,影响传感器的读数,引起较大误差^[1].

在本试验中,将和试件直接连接的加载头角部开浅槽,在试件的同一轴向两侧加载头之间安装应变量测装置,通过量测试件两侧加载头的相对位移,再扣除事先标定的减摩垫层的相应变形值,即可计算试件的应变.

1.4 附属装置

附属装置包括承力底座、水平滑道、滑轮、垫板、液压缸与承载板之间的过渡板以及连接液压缸和加压泵之间的导油管等.

2 试验操作过程

多轴荷载作用下混凝土的强度和变形试验操作按下列步骤进行：

- a. 试件减摩处理及安装.试件表面磨平后在受压面涂贴减摩材料,受拉面粘结结构胶,将处理后的试件安装在加载头上,试件就位后调准试件的位置.
- b. 施加初始压力(或拉力).运行液压缸,给试件预加 1 ~ 2 MPa 的压应力或 0.1 MPa 的拉应力,使得试件受力严合,并检查各部分运行是否正常以及试件位置是否正确.
- c. 记录初始读数.将初始荷载卸为零,重新对位移和荷载调零,并记录初始值.
- d. 正常分级加载.初始准备工作完成后,开始分级等速加载,分别控制三向加载,一般应为同步加载,当每级所加荷载稳定后记录应变仪的读数,再施加下一级荷载.
- e. 卸载.加载到试件破坏时卸载.如果加载到试验机最大吨位时试件仍未破坏,此时卸载应注意从大比例向荷载先卸,其它小比例向荷载视情况后卸,以防由于小比例向荷载卸得过快造成试件产生卸载裂缝,甚至破坏;当有拉力参加组合时,先卸拉力,后卸压力.
- f. 检查清理.卸下试件,清理装置和加载头以便下次试验.

3 试验装置的主要技术指标及特点

3.1 技术指标

试验装置的最大加载能力取决于现有压力机、水平方向液压缸的加载能力以及净空。竖直方向由原有压力机加载,最大荷载可达到 5 000 kN(压),竖向净空达 4.5 m。水平方向加载能力主要取决于水平向液压缸和水平向净空,最大压力可达到 3 200 kN,混凝土的抗拉强度要比抗压强度小得多,且不会因侧向应力而提高强度,因而水平向设计最大拉力较之最大压力小得多,为 150 kN,水平向液压缸的最大行程为 200 mm。

3.2 主要特点

a. 适用范围广泛,应用本试验装置可进行不同荷载组合和不同应力比下,平面应力、平面应变以及一般三轴加载的混凝土强度与变形特性试验,同时只要更换加载头就可适应多种形式与尺寸的试件。

b. 加载能力大,竖向最大压力可达 5 000 kN,水平向最大压力可达 3 200 kN,最大拉力为 150 kN。对于工程中常用的混凝土(C20 ~ C40),本试验装置可提供超过其单轴抗压强度 10 倍的三向应力。混凝土三轴受压时,有很大的极限变形,本试验装置水平方向液压缸的最大行程和竖直向净空足够大,完全可以满足混凝土的变形要求。

c. 三个方向的加载装置相互独立、正交,且可以沿各自的轴向自由移动,不会由于机械限制,在试件中产生强制应力。承载板和试件之间用带有球铰的加载头连接,保证试件受力时对中效果良好,加载位置准确,受力均匀。

d. 通过减摩效果分析对比试验,采用两层聚四氟乙烯(各厚 1 mm)中间涂硫化钼油膏的减摩措施简单、经济且试验效果良好。

e. 整个试验装置采用装配式结构,拆装灵活,提高了原有试验设备的利用率,造价较低,节省经费。

河海大学结构试验室黄书秦、陈建宁参加了设备研制工作。

参考文献：

[1] 过镇海. 混凝土的强度和变形试验基础和本构关系[M]. 北京: 清华大学出版社,1997. 109—122.
[2] 过镇海. 钢筋混凝土原理[M]. 北京: 清华大学出版社,1999. 71—75.
[3] 彭放. 复杂应力状态下多种混凝土材料的破坏准则及本构模型研究[D]. 大连: 大连理工大学,1990.
[4] 蔡澄清. 平面应变状态下混凝土本构模型的试验研究及非线性有限元分析[D]. 大连: 大连理工大学,1988.

Experimental apparatus for multi-axial performance of concrete

WANG Xu-hong¹, CHEN Yu-quan², WANG Ji-wei²

- (1. Shanghai Jiading Municipal Housing Development Bureau, Shanghai 201800, China ;
2. College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract : An apparatus for multi-axial performance experiment of concrete was developed based on the 5 000 kN press. The apparatus can be used for concrete strength and deformation experiments under different stress combinations, including plane stress, plane strain, and normal triaxial loading, and is suitable for various forms of test samples.

Key words : concrete ; experimental apparatus ; triaxial load ; stress combination