

全级配混凝土动态弯拉试验技术研究

周继凯, 吴胜兴, 沈德建, 陈建宁

(河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 参考 DL/T 5150—2001《水工混凝土试验规程》的简支梁三分点加荷法, 设计了电液伺服加载系统、往复拉压加载夹具、安装方式、无损监测和实时数据采集系统等。这套试验技术可施加多种类型的荷载, 如冲击波、变幅三角波、正弦波、模拟地震波、随机波荷载等。同时, 还应用声发射技术研究了全级配混凝土静态荷载作用下的破坏和损伤机制, 并通过试验得出了合理的试件安装方法, 形成了规范的动态试验操作步骤。

关键词 全级配混凝土 动态试验技术 弯拉试验 液压伺服系统 声发射

中图分类号 TV32

文献标识码 A

文章编号 1000-1980(2006)04-0440-04

大坝所采用的混凝土大多为全级配混凝土, 全级配混凝土一般采用三级配或四级配骨料。但是, 目前大部分试验基于湿筛混凝土试件进行, 而湿筛混凝土试件粗骨料含量较小、胶凝材料含量较高, 因此试验结果无法真实反映实际大坝混凝土的性能指标。

根据 DL/T 5150—2001《水工混凝土试验规程》要求, 弯拉试件的四级配混凝土和三级配混凝土构件的截面尺寸应分别为 $450\text{ mm} \times 450\text{ mm} \times 1700\text{ mm}$ 和 $300\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 1100\text{ mm}$ 。由于试件尺寸较大, 且要求试件在拉压循环后破坏面应在纯弯段内, 试验难度大、成功率低^[1-2]。

我国西部将修建多个世界级的高拱坝, 如高 292 m 的小湾双曲拱坝, 是世界当今最高的双曲拱坝。由于小湾拱坝临近地震活动区, 处于强震高发区, 因此按 9 度地震烈度设防。根据设计要求, 应对小湾拱坝进行全级配混凝土静、动态弯拉试验, 且试验用混凝土材料均应取工程实际使用的材料。这样, 不仅来料开采和运输困难, 而且试验周期长、成本高。如果要在有限的材料情况下尽可能完成更多的动态性能试验研究, 必须解决全级配混凝土动态弯拉试验技术问题。

地震作用对混凝土材料动态性能的影响主要表现为材料受荷速率高和拉-压交变往复作用频繁。通过冲击加载试验研究混凝土在地震作用下的动态特性, 是不可能考虑地震的低周疲劳作用的。若要考虑地震的低周疲劳作用, 则必须进行拉-压交变作用试验^[2]。为此, 笔者参考 DL/T 5150—2001《水工混凝土试验规程》中的全级配混凝土试件静态弯拉试验简支梁三分点加荷法(图 1), 对全级配混凝土动态弯拉试验技术进行了研究, 并设计出了可进行中应变率试验的加载系统、可进行往复拉压加载的试件夹具以及合理的安装方式和完善的高速数据采集系统。

梁三分点加荷法(图 1), 对全级配混凝土动态弯拉试验技术进行了研究, 并设计出了可进行中应变率试验的加载系统、可进行往复拉压加载的试件夹具以及合理的安装方式和完善的高速数据采集系统。

1 电液伺服加载系统

电液伺服加载系统由硬件和软件 2 大部分组成。硬件包括作动器、压力油源、计算机和冷却系统等。软件包括控制系统和数据采集系统。作动器有 3 个, 其最大加载能力分别为 1000 kN, 500 kN, 250 kN, 最大行程为 500 mm, 试验频率为 0.01 ~ 10 Hz。控制系统可按正弦波、方波、三角波、任意随机波和用户自定义波形对作动器进行位移控制和力的控制, 可用于各类空间结构或构件的伪静力试验。数据采集系统有 56 个实时数据采

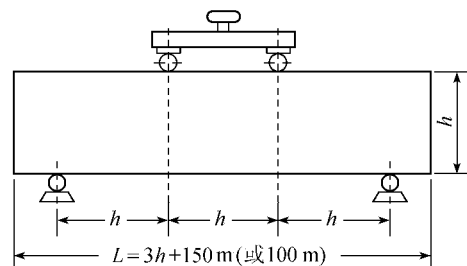


图 1 弯拉试验简支梁三分点加荷法

Fig.1 Sketch of third-point loading flexural-tensile test for simply supported beam

集通道,可自动进行数据的采集、分析和处理.

2 试件夹具设计方案

根据试件夹具应能传递往复拉压作用力,能保证试件破坏发生在纯弯区这一要求进行试件夹具设计.

2.1 夹具设计方案 1

按全级配混凝土试件尺寸 $450\text{ mm} \times 450\text{ mm} \times 1\,700\text{ mm}$ 设计夹具.为了使夹具能传递拉压作用力,在试件中预埋了 2 根带螺纹的锚筋,如图 2(a)所示.夹具由钢梁制成,两端支座通过地锚与地下基座紧固,作动头通过钢构件与梁内的预埋锚筋相连.

试验结果表明,虽然锚筋可以传递拉压作用力,但锚筋存在削弱截面、应力集中等缺陷,试件在锚固钢筋处会发生断裂现象,如图 2(b)所示.此外,该加载方案还存在加载装置过于笨重,试件尺寸太大、安装工作量大、操作极不方便、安装精度低等缺点.试验中还发现,作动头与梁内预埋锚筋连接处的连接件刚度不够,试验加载与采集信号同步性差.

2.2 夹具设计方案 2

由于方案 1 存在削弱截面、应力集中等缺陷,而且实际工程混凝土由四级配改为三级配,全级配混凝土试件尺寸由最初的 $450\text{ mm} \times 450\text{ mm} \times 1\,700\text{ mm}$ 改为 $300\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 1\,100\text{ mm}$,因此提出了另一种夹具设计方案,即夹具设计方案 2.

方案 2 夹具主要由支座、夹片和锚杆 3 部分组成,如图 3(a)所示.支座有铰支座和滚动铰支座 2 种形式,它们均由圆钢和钢垫块组成.

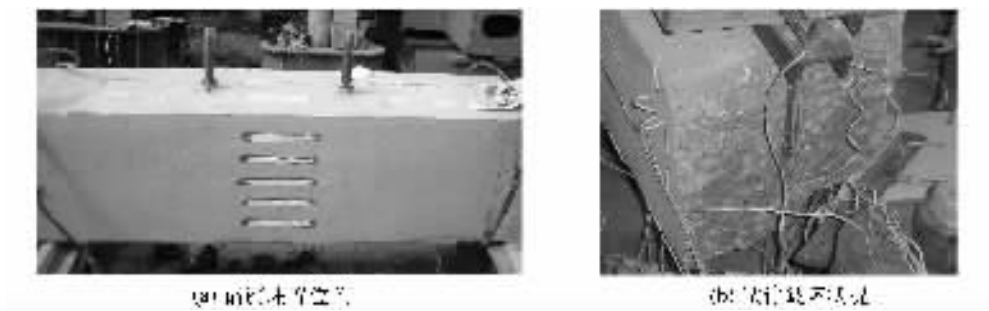


图 2 夹具方案 1

Fig.2 Scheme 1 of clamps



图 3 夹具方案 2

Fig.3 Scheme 2 of clamps

试验过程中,荷载首先通过作动头传递给分配梁,然后再通过分配梁传递到夹片上,最后通过锚杆和支座对试件进行加载.当作动头向下行进时,荷载通过锚杆和支座把荷载施加到试件顶面;当作动头向上行进时,荷载通过锚杆和支座把荷载施加到试件底面.该方案的全级配混凝土试件破坏状况如图 3(b)所示.

与夹具方案 1 相比,夹具方案 2 试件安装方便、工作量大、操作较简单,试验结果符合试验设计要求.因此,将方案 2 作为正式试验方案.

3 试件安装方法

采用夹具方案 2,若安装精度达不到要求,试件还可能发生在纯弯区外断裂和弯扭等无效破坏.因为作

动头加载时通过分配梁将荷载传递到三分点,当分配梁及三分点的位置存在偏差时,试件会受力不均,所以会发生无效破坏.为了保证安装精度,本试验采用了如下安装步骤:(a)将作动头作用方向线用铅锤投影于试验台面;(b)根据投影点位置按设计要求确定两端支座的台座距离,通过水准尺确保台座处在同一水平面上;(c)试件上台座前,用铅笔将支座、三分点等特征线放样到梁表面;(d)如果试件表面不平,则调整各支座的垫块,以保证梁面与作动头作用方向垂直;(e)先固定支座再安装作动头,且各锚杆与梁两侧面距离相等.同时,安装时特征线要求位置误差控制在 1 mm 以内.

安装时锚杆的预拉紧状态对试验结果有较大影响.如果预拉应力较小,则在往复加载情况下,支座有可能松脱.因此,按梁最大承载力 180 kN 设计要求控制锚杆的预拉紧状态,即每根锚杆设计最大受力为 45 kN,截面设计最大拉应力为 118 MPa.

4 可实现的加载类型

采用夹具方案 2 和上述试件安装方法,既可以施加静态荷载,又可以施加如冲击波、变幅三角波、正弦波、模拟地震波、随机波加载等类型的荷载.从图 4 可以看出,加载波形与实测波形基本一致.

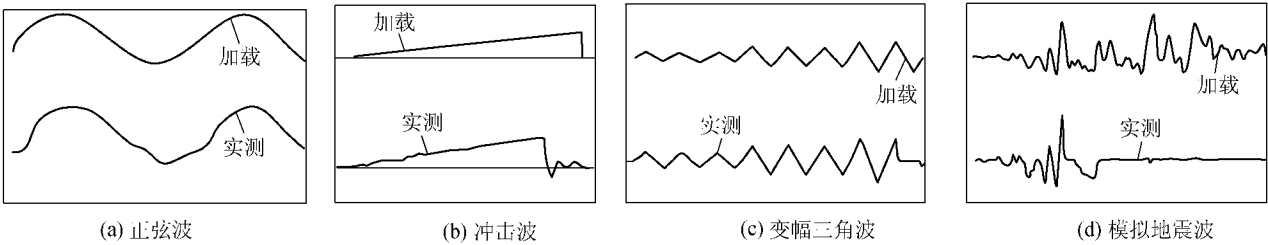


图 4 波形比较
Fig.4 Comparison of wave-forms

5 声发射监测技术的应用

在外力作用下,混凝土内部发生的损伤破坏过程主要是裂纹产生、扩展和搭接.裂纹在形成和扩展过程中会导致应力松弛,储存的部分能量会以应力波的形式突然释放出来.通过混凝土受力过程的测试和分析,可以了解混凝土内部结构所发生的变化和混凝土的损伤破坏机制.据此,本试验采用美国 PAC 公司生产的 SPARTANAT2000 系列声发射仪对部分试件进行了无损检测.测



图 5 压电传感器位置
Fig.5 Location of piezoelectric cell

试时,将 5 只谐振频率为 150 kHz 的压电传感器通过硅胶与梁纯弯段相应位置进行耦合,如图 5 所示.

全级配混凝土试件静、动态声发射特征如图 6 所示.

由声发射与应变联合监测结果可知:(a)损伤应变阈值较小,静态加载损伤应变约为 28×10^{-6} ,动态加载损伤应变约为 45×10^{-6} .(b)动态加载过程中存在典型的 Kaiser 现象以及裂缝闭合过程.(c)混凝土拉应变超过损伤应变阈值后,界面出现裂缝.继续

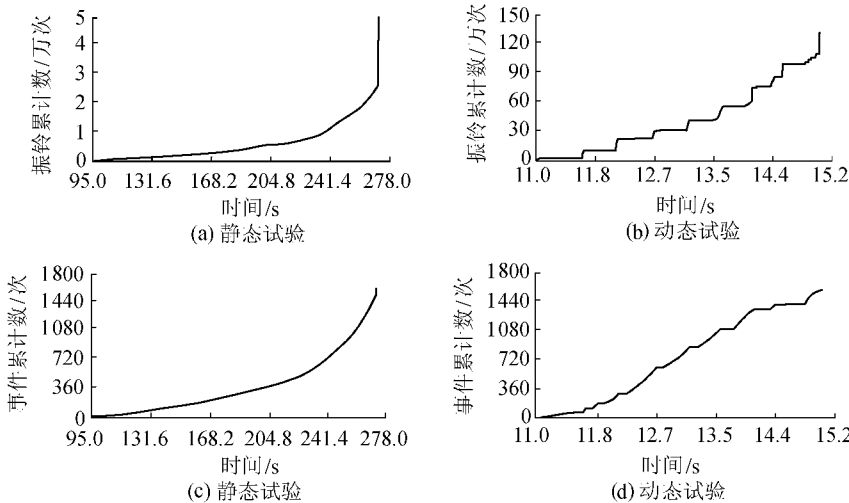


图 6 全级配混凝土试件静动态声发射特征随时间变化曲线
Fig.6 Time history of static and dynamic acoustic emission characteristics of fully-graded concrete specimen

加载后界面裂缝会逐渐向砂浆中延伸,当裂缝扩展到粗骨料时,部分粗骨料会断裂.动态荷载下粗骨料断裂比例比静态荷载下粗骨料断裂比例大,动态荷载下粗骨料界面破坏比例比静态荷载下粗骨料界面破坏比例小.(d)可以通过声发射信号的幅值、延时、振铃数和事件数来分析混凝土损伤演化规律.

6 结 语

目前,全级配混凝土材料动态性能试验方面存在的主要问题是试验技术不能满足试验要求.为此,笔者参考 DL/T 5150—2001《水工混凝土试验规程》的简支梁三分点加荷法,提出了包括加载系统、加载夹具、安装方式、无损监测和数据采集方法等内容的试验技术设计方案,并应用声发射技术对部分试件进行了无损监测.结果表明,采用该设计方案,可施加多种类型的荷载,如冲击波、变幅三角波、正弦波、模拟地震波、随机波荷载等,声发射技术是研究全级配混凝土动静态荷载作用下破坏和损伤机制的有效手段^[4-8].

参考文献：

[1] 董毓利,谢和平,赵鹏.不同应变速率下混凝土全压过程的试验研究[J].水利学报,1997,17(7):72-77.
[2] 侯顺载,李金玉,曹建国,等.高拱坝全级配混凝土动态试验研究[J].水力发电,2002,33(1):51-53.
[3] WU Sheng-xing,ZHOU Ji-kai,SHEN De-jian,et al.Flexural-tensile testing of fully-graded concrete in static and dynamic states for high arch dam[C]//MARTIN W,REN Qing-wen,TAN J S Y.Proceedings of the 4th International Conference on Dam Engineering,New Developments in Dam Engineering.London:Taylor & Francis Group Plc,2004:961-968.
[4] ZHOU Ji-kai,WU Sheng-xing,ZHAN Chen-hui,et al.Experimental study on fully-graded concrete aseismatic strength under different initial static loading[C]//LIU Wei-qing,YUAN F G,PETER C.Proceedings of the Third International Conference on Earthquake Engineering.Beijing:Intellectual Property Publishing House,2004:339-344.
[5] WU Sheng-xing,SHEN De-jian,YAO Wu,et al.Experimental study on the acoustic emission characteristics of fully-graded concrete under static and dynamic loading[C]//LIU Wei-qing,YUAN F G,PETER C.Proceedings of the Third International Conference on Earthquake Engineering.Beijing:Intellectual Property Publishing House,2004:491-495.
[6] SHEN De-jian,SI Yong-feng,CUI Yan-wei,et al.Three-dimensional finite element analysis of dispersion effect in SHPB tests[C]//LIU Wei-qing,YUAN F G,PETER C.Proceedings of the Third International Conference on Earthquake Engineering.Beijing:Intellectual Property Publishing House,2004:388-392.
[7] 周继凯,吴胜兴,赵丽红,等.不同模量弹性理论的全级配混凝土静动态特性试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(1):94-98.
[8] 崔延卫.混凝土动力特性试验研究方法分析及其应用[D].南京:河海大学,2005.

Study on flexural-tensile test technique for fully-graded concrete in dynamic states

ZHOU Ji-kai, WU Sheng-xing, SHEN De-jian, CHEN Jian-ning
(College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract Referring to the third-point flexural loading method for simply supported beam in the Test Code for Hydro-concrete (DL/T 5150—2001), a program was designed for the experiment, which includes loading system, loading clamps, installing format, non-destructive monitoring, data collecting method, and so on. The self-designed testing equipment used in dynamic flexural-tensile experiments, including the electro-hydraulic servo system, real-time data collecting system, and cyclic loading clamps, was suitable to various loading patterns, such as impact-wave, amplitude-variable triangle-wave, sine-wave, simulated earthquake-wave, random-wave, etc. Meanwhile, the acoustic emission technique was adopted to study the failure and damage mechanism of fully-graded concrete under the static and dynamic loads. Finally, a reasonable method for specimen installation was obtained from experiments, and a normalized process for dynamic experiments was formed.

Key words fully-graded concrete; dynamic test technique; flexural-tensile test; hydraulic servo system; acoustic emission