

# 一种混凝土耐久性实验的加载装置\*

焦楚杰, 张亚芳, 魏晓峰, 钟海明  
(广州大学土木工程学院, 广东 广州 510006)

**摘要:** 针对混凝土耐久性试验, 为了满足多因素耦合作用下加载的要求, 基于国内外现有加载装置的优缺点, 设计制作了运用于多因素耦合作用下离子侵蚀混凝土试验用的加载装置, 并进行了相关性能的测试。结果表明, 该新型加载装置具有加载精度高、应力损失小、操作简单、制作成本低、可用于批量试验等优点。该装置获得国家专利, 可供混凝土耐久性研究人员参考使用。

**关键词:** 混凝土; 耐久性试验; 加载装置

**中图分类号:** TU528.063.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2012)04-0014-05

## A Loading Device Used for the Test of Concrete Durability

JIAO Chujie, ZHANG Yafang, WEI Xiaofeng, ZHONG Haiming  
(School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** According to the durability test of concrete, and in order to meet the requirements of stress loading affected on concrete by multi coupling factors, a new loading device which takes account of ion erosion concrete under multi coupling factors was designed, made, and used to test the durability of concrete. The new device adopted the advantages and avoided the disadvantages of existing devices in China and foreign countries. The test results show that the new device has many excellent characteristics such as high loading accuracy, small stress losses, simplicity of operation, low cost and can be used for lots of test. The new device has gained national patent certificate of China, and may provide references for the research of concrete durability

**Key words:** concrete; durability test; loading device

混凝土耐久性研究是土木工程领域的热点问题<sup>[1-2]</sup>, 国内外每年因混凝土耐久性失效、维修与加固等付出了大量人力、物力和财力。引起混凝土结构耐久性失效的原因往往是多种因素耦合作用的复杂过程。为了深入研究混凝土结构的耐久性, 研究多种因素共同作用、特别是在受力状态下的多因素耦合作用就显得尤为重要。

随着混凝土抗离子侵蚀研究的深入, 对用于侵蚀环境下的加载装置设备的要求也更加苛刻。其原因主要是受力状态下的混凝土耐久性试验结果的可

靠性, 很大程度上取决于加载装置是否具有足够的精度、是否能够保证试验过程中无应力松弛或应力损失小等优点。这迫切需要一种合适的加载装置, 它不但能够精准施加所需荷载、客观反映混凝土结构的实际受力状况, 而且要能够满足进行批量试验的要求、具有推广使用的价值。

### 1 加载装置使用现状

目前, 离子侵蚀和荷载作用等多因素耦合作用下混凝土结构耐久性的研究尚处于初级阶段, 用于

\* 收稿日期: 2012-03-12

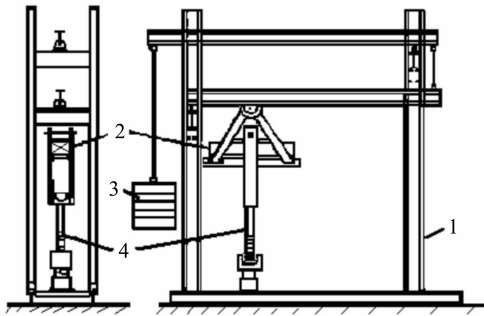
**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(50708022); 广东省高等学校高层次人才资助项目(2050205); 建设部科研开发资助项目(07-K4-5、07-K4-13、10-K3-27、10-K4-18); 广州市属高校“羊城学者”科研项目(10A043G); 广州市属高校科技计划项目(62064); 广州大学科研创新团队项目(2008)

**作者简介:** 焦楚杰(1974年生), 男, 博士, 教授, 硕士生导师; E-mail: jiaochujie@sina.com

加载混凝土试件的装置也在不断完善之中。在现有的加载装置体系中，根据加载原理，主要可以分为以下 3 类：

1) 杠杆类。典型代表主要有河海大学林毓梅<sup>[3-4]</sup>设计采用的双杠杆三点加载试验装置和奥地利维也纳科技大学 Schneider 和 Chen<sup>[5]</sup>采用的杠杆式四点加载装置。加载装置结构示意图分别如图 1、图 2 所示。对于图 2 所示加载装置，经过计算，当试件尺寸为 40 mm × 40 mm × 160 mm 的混凝土试块产生 50% 的弯曲应力时，杠杆臂长将达到 0.6 m，占据空间大<sup>[6]</sup>。若需节约空间，减少杠杆臂长，则所加荷载的精度将下降，而且能够减少的杠杆臂长有限。此类加载装置优点是：加载与原理解、不受温度变化影响、荷载可控性好、干扰因素少；缺点是：占用空间大、一次加载试件少。

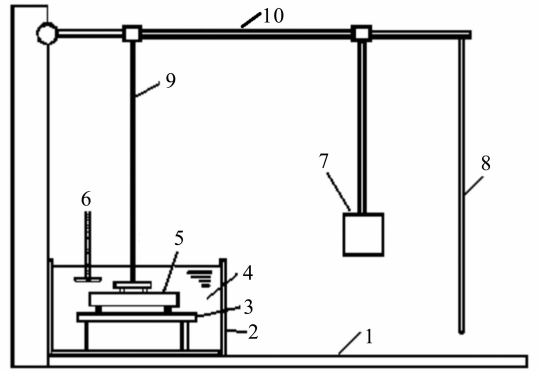
2) 三点加载类。中国水利水电科学研究院设计的加载装置示意图如图 3 所示。该类加载装置的特点是混凝土试件的弯曲受力比较合理，与试验规程上的受力保持了一致<sup>[7]</sup>；与杠杆原理的加载装置相比，加载装置体积小；一次能加载试件的数量较多，为批量试验创造了条件。然而，该加载装置存在控制精度低，试验中荷载变化幅度大等缺点。



1 - 双杠杆加载构架；2 - 试件；3 - 砝码；4 - 调节细杆  
图 1 双杠杆式加载装置

Fig. 1 Double leveraged loading devices

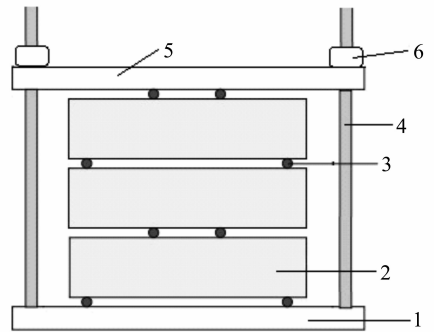
3) 三点 - 弹簧加载类。东南大学孙伟、慕儒设计出带弹簧系统的加载装置<sup>[8]</sup>。该加载装置是在三点加载原理加载装置的基础上引入了弹簧，并通过弹簧来施加所需的弯曲荷载。其加载装置结构如图 4 所示。施加荷载的过程是：首先，采用弹簧测力计、依据胡克定律测算出弹簧的刚度；然后，通过计算弹簧的变形量来施加所需的弯曲荷载。为了减少有害离子对加载装置锈蚀引起的应力松弛，将加载架和腐蚀溶液分开并在容器内部涂上一层高分子防锈层。此加载装置的特点是通过弹簧来控制



1 - 基础；2 - 容器；3 - 支撑板；4 - 溶液；5 - 试件；6 - 搅拌器；7 - 荷重；8 - 制动器；9 - 压杆；10 - 水平臂  
图 2 杠杆式四点加载装置

Fig. 2 The lever type four loading devices

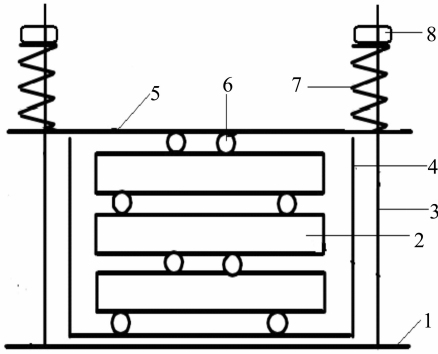
所需施加的荷载大小，比三点加载装置的精度高，并继承了三点加载装置的优点；通过使用不同大小的弹簧实现对不同尺寸、不同强度等级混凝土试件荷载的施加。该加载装置的缺点是荷载施加时受人为影响因素大，将支架与试件隔开的加载模式，使装置体积较大，限制了其使用范围。



1 - 底板；2 - 试件；3 - 支点；4 - 螺杆；5 - 上板；6 - 螺帽  
图 3 三点加载装置

Fig. 3 Three loading devices

目前，国内外有部分学者提出将传感器运用到弹簧加载装置系统中，即每套加载装置均安装 2 个传感器，实现数据的可读性，同时兼备弹簧加载装置系统的优点。但其缺点是：① 耐久性试验通常要持续一两年，甚至更长的时间，传感器固定在加载装置中并与其一起工作，传感器工作寿命不一定能达到试验要求；② 为了研究耐久性试验中诸多因素的变化规律，通常需要上百组、甚至上千组加载装置，如果在每套加载装置上都安装传感器，整个试验就耗资大。



1 - 底板; 2 - 试件; 3 - 螺杆; 4 - 容器;  
5 - 上板; 6 - 支点; 7 - 弹簧; 8 - 螺帽

图 4 三点-弹簧加载装置

Fig. 4 Three - spring loading device

针对以上各种加载装置的优缺点, 设计出一套简单适用, 造价合理的加载装置, 对混凝土耐久性研究将起到很大的促进作用。

## 2 新型加载装置设计

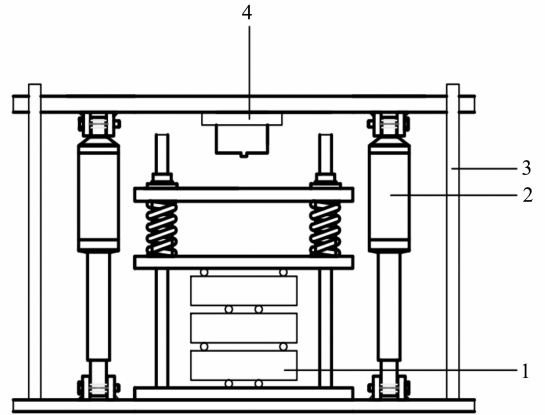
### 2.1 加载装置的设计

笔者基于国内外相关规程以及现有加载装置<sup>[9-13]</sup>, 设计出新型混凝土试件加载装置如图 5 所示 (已获专利, 专利号: ZL 2010 2 0101896. X)。因混凝土材料性能离散性大, 要有足够数量的混凝土试件才能有效探寻其规律, 为了实现混凝土耐久性的批量试验, 采取对一组三个试件同时加载的方式, 试件的受力如图 6 所示。为了减小加载装置体积, 可在确保其强度和刚度的前提下, 通过减小加载装置各部分组件的尺寸来实现。

施加荷载时的准确性将直接影响到试验结果的可靠性, 为了提高施加荷载的准确性, 本设计采用了电动推杆和力传感器, 从而使加载过程实现自动化, 减少人为因素误差, 有效保证了荷载的准确性。在保证精度的前提下, 为了节约制作成本, 本加载装置的电动推杆和力传感器只在施加荷载阶段使用, 荷载施加完毕, 将其拆卸用于加载下一组试件, 如此反复使用, 直到将所有需加载的试件加载完成。

本加载装置的优点是: ① 原理简明, 体积小, 能用于批量试验研究; ② 可将试件和加载装置一起置于冻融、碳化等仪器的试验箱, 实现多因素损伤研究; ③ 两个电动推杆对称布置, 通过控制器控制可同步施加荷载, 保证了两侧力的平衡; ④ 可定量施加试验所需荷载, 操作简单, 精度准确; ⑤ 加载装置各部件全采用优质钢制作, 可防止盐

溶液等有害离子的腐蚀。



1 - 试件; 2 - 电动推杆; 3 - 支架; 4 - 力传感器;  
图 5 新型自动加载装置

Fig. 5 New automatic loading devices

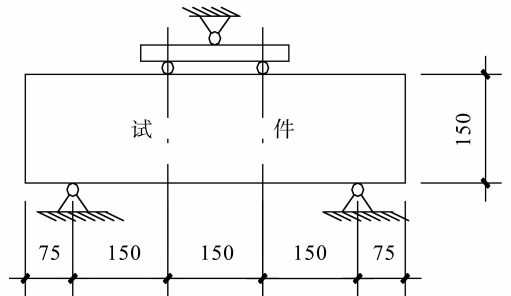


图 6 试件受力示意图

Fig. 6 Force diagram of concrete specimen

### 2.2 试件受力分析

如图 6 所示, 混凝土试件采用 150 mm × 150 mm × 600 mm 的标准试件, 其抗折强度的计算如下:

$$f_b = \frac{FL}{bh^2} \quad (1)$$

式中,  $f_b$  为材料的抗折强度, MPa;  $F$  为材料破坏时的最大荷载, N;  $L$  为试件支座之间的长度, mm;  $b$ ,  $h$  为试件横截面的宽和高, mm。

在应力与多因素耦合作用下混凝土抗有害离子侵蚀试验中, 为确定对试件施加弯曲荷载的大小, 首先需要测定试件能承受的最大弯曲荷载, 然后以该最大荷载为基准值确定所需施加力的大小。以 C30 混凝土为例: 测得 C30 混凝土的抗折强度为 4.0 MPa, 通过 (1) 式可求得试件破坏时的荷载  $F$  为 30 000 N; 若侵蚀试验中需施加最大弯曲荷载的 20%、40%、60% 三种比例, 则在试件上所需施加的荷载分别为 6 000 N、12 000 N 和 18 000 N。

### 2.3 装置工作性能分析

离子侵蚀混凝土的试验研究是一个长期的过程,在试验过程中,加载装置的工作性能将面临严峻考验。为了测试该加载装置的工作性能,本课题组对处于不同侵蚀条件下的新型加载装置进行了为期15周的离子侵蚀试验研究。加载装置的测试指标主要有:①弯曲荷载的衰减幅值;②中间横梁、支点的变形情况。

采用C30混凝土试件,为了施加荷载的值小一点,本课题组制做小试件,尺寸为40 mm × 40 mm × 160 mm,支座间的距离为120 mm,其抗折强度为4.0 MPa,侵蚀溶液选用硫酸钠溶液。参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》,硫酸钠溶液的浓度为5%。试验过程中应力损失的变化量不但与试验时间有关,还与施加应力的初始值有关。为对比不同初应力的影响,选用两个不同应力等级进行试验。弯曲应力分别取混凝土试件最大弯曲荷载的40%、60%,则施加于试件的弯曲荷载分别为853 N、1 280 N。试验结果如图7、图8所示。

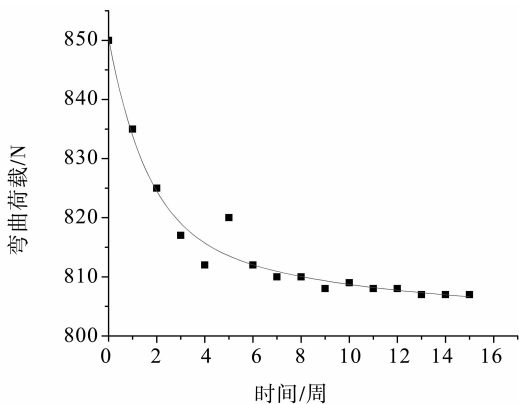


图7 40%最大弯曲荷载工况的荷载-时间曲线

Fig. 7 Load - time curve by 40% Maximum bending load

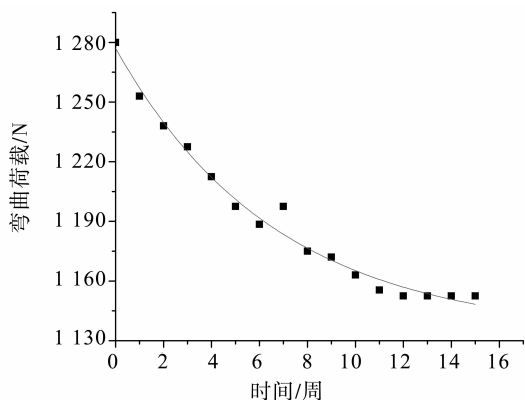


图8 60%最大弯曲荷载工况的荷载-时间曲线

Fig. 8 Load - time curve by 60% Maximum bending load

从图7、图8可以看出,两种试验条件下,新型加载装置在为期15周的持荷工作中,弯曲荷载衰减很小,大约为初始施加荷载值的5%到9%之间。这说明弯曲应力变化作为标定该加载装置的指标能够达到预期的效果,能满足多因素复合作用下耐久性试验的要求。

在经过15周的试验后,对中间横梁、支点的变形情况进行检查,发现中间横梁的平整度良好,肉眼观测不到明显的变形,支点也近乎无变形。

## 3 结论

本文针对现有混凝土试件加载装置的优缺点进行扬长避短,设计制作了新型加载装置,利用电动推杆实现自动加载,利用传感器实现荷载的准确调控,而且所有加载装置使用一个传感器即可,降低了试验造价,为复合因素长期耦合作用下的混凝土耐久性研究提供了一个合适的测试工具。

### 参考文献:

- [1] 高嵩,李秋义,陈建珍. 再生骨料混凝土耐久性能影响因素研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2009,48(S2):20-22.
- [2] 张玉敏,徐新生. 海水侵蚀环境下混凝土耐久性的研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2007,46(S):132-133.
- [3] 林毓梅,冯琳. 在海水中混凝土应力腐蚀试验研究[J]. 水利学报,1995,26(2):40-45.
- [4] 林毓梅,姜国庆. 在5%硫酸钠溶液中混凝土应力腐蚀试验研究[J]. 混凝土与水泥制品,1996(2):22-25.
- [5] U Schneider, S W Chen. The Chemomechanical Effect and the Mechanochemical Effect on High-Performance Concrete Subjected to Stress Corrosion[J]. Cement and Concrete Research,1998,28(4):509-522.
- [6] 刘斯凤. 荷载复合离子干湿交替下生态混凝土的损伤过程与寿命[D]. 南京:东南大学,2004.
- [7] 交通部. JTJ 270-1998 水运工程混凝土试验规程[S]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [8] 慕儒. 冻融循环与外部弯曲应力、盐溶液复合作用下混凝土的耐久性与寿命预测[D]. 南京:东南大学,2000.
- [9] 国家质量监督检验检疫总局. GB749-2008 水泥抗硫酸盐侵蚀试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [10] 建设部. GB/T749-2001 硅酸盐水泥在硫酸盐环境中的潜在膨胀性能试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2001.
- [11] The American society for testing and materials. ASTM C452-95 Standard Test Method for Potential Expansion

- for Portland Cement Mortars Exposed to Sulfate Solution [S]. Annual Book of ASTM Standards, 1995.
- [12] The American society for testing and materials. ASTM C1012 - 95 Standard Test Method for Length Change Of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to A Sulfate Solution [S]. Annual Book of ASTM Standards, 1995.
- [13] 建设部. GB/T50082 - 2009 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- 
- (上接第 6 页)
- [33] BI Xiaojun, BRANDENBERGER R, GONDOLO P, et al. Non-thermal production of WIMPs, cosmic  $e^+ - e^-$  excesses and gamma-rays from the galactic center [J]. Physical Review D, 2009, 80: 103502 [arXiv:0905.1253 [hep-ph]].
- [34] ZHANG Juan, YUAN Qiang, BI Xiaojun. Galactic diffuse Gamma rays—recalculation based on the new measurements of cosmic electron spectrum [J]. The Astrophysical Journal, 2010, 720: 9 - 19 [arXiv:0908.1236 [astro-ph. HE]].
- [35] YUAN Qiang, YIN Pengfei, BI Xiaojun, et al. Gamma rays and neutrinos from dark matter annihilation in galaxy clusters [J]. Physical Review D, 2010, 82: 023506 [arXiv:1002.0197 [astro-ph. HE]].
- [36] BAI Yang, FOX P J, HARNIK R. The tevatron at the frontier of dark matter direct detection [J]. Journal of High Energy Physics, 2010, 1012: 048 [arXiv:1005.3797 [hep-ph]].
- [37] GOODMAN J, IBE M, RAJARAMAN A, et al. Constraints on dark matter from colliders [J]. Physical Review D, 2010, 82: 116010 [arXiv:1008.1783 [hep-ph]].
- [38] RAJARAMAN A, SHEPHERD W, TAIT T M P, et al. LHC bounds on interactions of dark matter [J]. Physical Review D, 2011, 84: 095013 [arXiv:1108.1196 [hep-ph]].
- [39] FOX P J, HARNIK R, KOPP J, et al. Missing energy signatures of dark matter at the LHC [J]. Physical Review D, 2012, 85: 056011 [arXiv:1109.4398 [hep-ph]].
- [40] BAI Yang, TAIT T M P. Inelastic dark matter at the LHC [J]. Physics Letters B, 2012, 710: 335 - 338 [arXiv:1109.4144 [hep-ph]].
- [41] 余钊焕, 陈璟锟, 姚道新, 等. 暗物质直接探测实验现状[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2012, 51(3): 1 - 6.