

文章编号:1673-9469(2008)02-0009-04

## 钢纤维混凝土动载疲劳特性的试验研究

石北啸<sup>1,2</sup>

(1.河北工程大学 学生工作部,河北 邯郸 056038;2.西安理工大学 岩土工程研究所,陕西 西安 710048)

**摘要:**运用 TAW-2000 型微机伺服多功能材料试验机,对不同强度混凝土掺入不同含量的钢纤维进行疲劳破坏试验研究。结果表明:在钢纤维体积含量一定范围内,随钢纤维体积含量增加,钢纤维混凝土的疲劳极限抗压强度增长十分明显;随钢纤维体积含量提高,混凝土的抗疲劳能力显著增强;随时间增长,应力曲线的上升段更加陡峭,下降段更缓慢,即钢纤维混凝土的疲劳强度、韧度均得到显著增长。

**关键词:**钢纤维混凝土;疲劳强度;抗压强度

**中图分类号:** TU528.572

**文献标识码:** A

## Experiment study on fatigue characteristic of steel fiber reinforced concrete

SHI Bei-xiao<sup>1, 2</sup>

(1. Student Management Department, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China;

2. Institute of Geotechnical Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** The fatigue failure experimental study on the steel fiber with different content was carried out by using the TAW-2000 Multi-function material experiments machine. The results showed that the tired extreme limit anti-presses strength increased linearly along with the content of steel-fiber. The ability of resist fatigue increased along with the content of steel-fiber. The rising segment of the curve is more steep and the downing slower along with the time. The strength and temper of steel-fiber reinforced concrete be enhanced.

**Key words:** steel-fiber reinforced concrete; fatigue strength; compressive strength

众所周知,水泥混凝土路面主要承受静载弯曲、动载疲劳以及温度应力的作用。由于钢纤维混凝土的抗拉、抗冲击、抗断裂和抗弯等优越性能,近年来被广泛应用于公路路面、桥面和铁路轨枕等土木工程结构中。对于静载弯曲作用下钢纤维混凝土的力学性能研究,目前成果较多<sup>[1-5]</sup>,而对轴压下的动载疲劳特性研究成果较少。但考虑在混凝土服役期间通常承受随机或周期性反复轴压载荷的作用,因此钢纤维混凝土材料的抗压疲劳特性与变形性能的研究,具有极其重要的工程意义<sup>[5-7]</sup>。

### 1 试验设计

#### 1.1 试件制作

原材料:采用普通硅酸盐水泥;中砂、石灰岩碎石;钢纤维是采用剪切法生产的微扭型普通钢纤维。

试件尺寸:长方体 100 mm × 100 mm × 150 mm;圆样:直径 100mm,高度 150mm。

各不同体积含量钢纤维混凝土试件均在相同室内条件下制得,在室内养护 24 h 后拆除模具,拆

收稿日期:2008-02-27

基金项目:河北省教育厅基金项目(2007111);河北工程大学青年基金项目

作者简介:石北啸(1976-),男,河北清苑县人,硕士研究生,讲师,从事土木工程及岩体力学方面的教学与研究。

模后即将试件置入标准养护室内,在标准条件下养护至龄期(28d)。

## 1.2 试验方法

动荷载下的疲劳试验,采用西安理工大学的TAW-2000型微机伺服多功能材料试验机进行试验研究。该试验机由轴向、侧向加载设备、横向剪切系统和微机操作系统四部分组成,可进行单轴、三轴和剪切条件下的静载和动载试验。试验数据由计算机自动采集。试验过程用位移控制,初始荷载采用20kN、40kN两种,每五个等幅加载为一个循环,每个循环增加0.5kN;直至试件残余应力降至初始值附近为止。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 试验结果

方形和圆形两种试件,在正弦波形轴向疲劳荷载作用下的试验结果分别见表1、表2。表中最大荷载是指试件在疲劳荷载作用下,所能承受的大轴向压力,即疲劳极限抗压强度。此时所对应的时间即为出现最大荷载时的试验时间;表中,NP表示试件在循环荷载作用下试件失效破坏时所经历的循环荷载作用次数,即疲劳寿命。

表1 方形试件试验结果

Tab.1 The examination result of square test

混凝土等级	钢纤维含量 (%)	最大荷载 $Q_{max}$ (kN)	出现最大荷载时时间 $t$ (秒)	疲劳寿命 $N_p$ (次)
C30	0	241.882	872.3	12923
	1	251.586	707.7	16045
	2	295.222	692.1	17321
	4	284.38	802.3	19426
	6	382.65	903.5	24865
C40	0	284.942	652.8	9817
	1	324.578	651.6	12711
	2	326.528	966.6	15921
	4	328.984	942.8	21868
	6	365.736	995.2	26504

表2 圆形试件试验结果

Tab.2 The examination result of rotundity test

混凝土等级	钢纤维含量 (%)	最大荷载 $Q_{max}$ (kN)	出现最大荷载时时间 $t$ (秒)	疲劳寿命 $N_p$ (次)
C30	0	254.694	437.2	6977
	1	286.602	372.3	8123
	2	267.088	535.4	9616
	4	275.97	382.8	11323
	6	289.546	750	12508
C40	0	263.684	469.6	7919
	1	266.324	462.2	9153
	2	279.758	627.2	10853
	4	387.21	697.5	12325
	6	338.098	672.4	17625

### 2.2 数据分析

对该试验数据进行分析,我们可以得到:

1)含有钢纤维的混凝土所能承受的最大轴向压力明显增强。例如:混凝土强度等级为C30,体积含量为6%的钢纤维混凝土和素混凝土相比,最大荷载增强58%左右,这是因为钢纤维混凝土中均匀且无序分布的钢纤维在起作用,它阻碍了混凝土内部微裂缝的扩展并防止宏观裂缝的发生。因此钢纤维对混凝土的抗压强度有明显的改善作用,即使在混凝土上发生一定裂缝的情况下,仍然对混凝土的承载能力具有很大的贡献,只有当纤维与混凝土剥离的时候,抗压强度才会有所下降。

2)钢纤维混凝土的最大轴向荷载出现的时间随钢纤维含量增加而延长。这主要是受力后钢纤维与混凝土共同作用,钢纤维在阻碍混凝土内部微裂缝扩展的同时,使混凝土的韧度得到加强。可见,钢纤维对混凝土的抗压疲劳性能的改善比较明显。

3)随钢纤维含量增加,混凝土的疲劳寿命大幅度增加,钢纤维含量6%的混凝土比相应的素混凝土疲劳寿命最少长一倍,C40方样中钢纤维含量6%的混凝土与相应素混凝土相比相差近三倍。这说明由于钢纤维参与工作,有效地改善了混凝土的耐久性,使得混凝土的韧性显著提高,疲劳寿命增加。

通过试验我们还可以证明,钢纤维的掺入明显改善了构件的破坏方式,使钢纤维混凝土在受

压破坏时仍能保持原状而无明显的碎块或崩落现象。就像参考文献[8]所述:钢纤维混凝土破坏时,都是纤维与混凝土剥离,而不是钢纤维被拉断。因此改善基体与钢纤维的粘结力,成为提高钢纤维混凝土力学性能的主要目标。

### 2.3 图形分析

方形 C30 和圆形 C40 不同含量钢纤维混凝土试件的荷载—时间曲线分别如图 1、图 2。

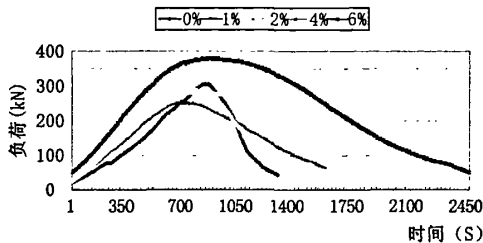


图1 方形试件C30不同含量SFRC时间-负荷图

Fig.1 The load-time chart of C30 vary content steel fiber reinforced concrete square test piece

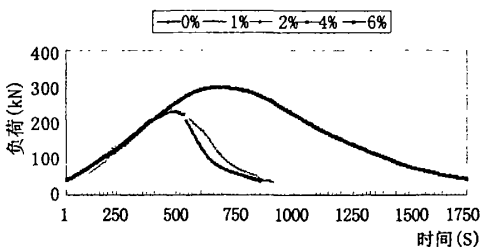


图2 圆形试件C40不同含量SFRC时间-负荷图

Fig.2 The load-time chart of C40 vary content steel fiber reinforced concrete rotundity test piece

从图中可以看出:(1)疲劳极限抗压强度与钢纤维含量有很大关系。在疲劳破坏荷载作用下,随钢纤维体积含量增加,钢纤维混凝土的疲劳抗压强度增长十分明显;这一点,在数据分析中也能得到很好的验证。(2)在动态条件下,强度较高的混凝土采用钢纤维增强后,其密实性显著提高,进而表现出来的就是:随钢纤维含量提高,应力-时间曲线的上升段更陡而下降段更缓,即强度及初度都有显著增长。

### 3 机理分析

素混凝土是由粗骨料、细骨料和水泥砂浆构成的,混凝土在结硬后,水泥浆中已水化部分、未

水化的水泥颗粒以及空气和水等所占的比重随龄期而变化,未水化部分逐渐减小而水化部分逐渐增多。水化的水泥浆由针状或页片状纤维组成。由于这种纤维不是实心的,而是呈微细的管状结构,所以水泥浆空隙率很高,致使素混凝土在受到疲劳抗压荷载时,水泥浆中的空隙处出现应力集中而首先破坏,从而使素混凝土的抗压性能受到损伤。

#### 3.1 混凝土损伤机理

可以说微裂缝的存在是混凝土损伤的基本机理。通过 X 光显微镜检查表明,在混凝土受荷之前集料和砂浆界面上就存在细微裂缝,我们称之为结合裂缝。这种微裂缝主要是由于水泥浆水化和干燥期间体积变化引起的结果,这说明该界面是混凝土受力后最薄弱的环节。通过试验可知,这种裂缝在极限荷载的 30% 以上时,其长、宽和数量便开始随应变的增加而增加;在极限强度的 70% - 90% 时,砂浆内微裂缝会显著增加,且与邻近的结合裂缝相连而形成连续裂缝。光学显微镜、超声波探测、声发射等现代技术应用于混凝土的损伤观测后,认为混凝土损伤具有两个机理:(1)在骨料和水泥浆之间内表面的微裂缝产生和扩展;(2)在集料中的微断裂、疲劳破坏,是混凝土在反复荷载作用下内部微裂缝产生,造成应力集中,裂缝扩展,最后断裂的过程。

#### 3.2 疲劳性能增强机理分析

钢纤维作为改性材料大大改善了混凝土内部的细观结构,钢纤维混凝土性能得以提高的主要原因,具体表现在:(1)钢纤维减少了混凝土硬化过程中的初始缺陷。我们知道,混凝土在水化过程中会出现收缩现象,将在骨料和水泥浆之间产生气孔等微裂缝,而钢纤维的存在,则有效地充实气孔空洞,阻止了混凝土内部微裂缝的产生和扩展,同时钢纤维的连续性使得微裂缝间隙不再贯通、连续。(2)由于钢纤维增强了混凝土的连续性,在疲劳荷载作用下,降低了应力集中的程度,提高了裂缝的扩展阻力,因而,使得裂缝扩展速率放慢。

作者认为,与增强混凝土的静力强度相比,钢纤维更能有效的提高混凝土的抗疲劳性能。这是因为,静力破坏是在最大荷载下的一次性破坏,其抗力主要取决于材料本身的强度,即混凝土本身,

除取决于水泥和砂浆本身的强度以外,还包括水泥与砂浆结合的密实度,而钢纤维由于用量较少,其抵抗最大荷载下一次性破坏的作用并不明显;而疲劳破坏是一种在较低的应力水平下的损伤累积的过程,它的性能不仅仅取决于混凝土中材料本身的强度,更与材料的细观结构密切相关<sup>[9-11]</sup>。这一点,从试验结果中很好的表现出来。我们看到:无论方形试件还是圆形试件,高强度等级的混凝土与低强度等级的相比,相同体积含量钢纤维所起到的抗疲劳性能更加明显。这就说明,钢纤维的加入与砂浆和骨料紧密结合,使材料本身的细观结构发生改变,水泥浆与钢纤维结合得越紧密,钢纤维就越能有效地阻止混凝土内部微裂缝的产生和扩展,从而提高混凝土本身的抗疲劳性能。这就是本试验中表现出来的钢纤维混凝土疲劳强度与素混凝土相比有较大提高的原因。因而从理论上说,钢纤维如果能够与水泥浆完全结合,混凝土本身的微裂缝被钢纤维有效阻止,气孔被钢纤维完全充实,钢纤维混凝土的抗疲劳强度将达到最大。

#### 4 结论

1) 含有钢纤维的混凝土与素混凝土相比,所能承受的疲劳极限抗压强度明显增强。并且在小含量范围内,随钢纤维的含量增加,其增强效果更加明显。

2) 钢纤维混凝土的疲劳极限抗压强度出现的时间随钢纤维含量增加而延长。即钢纤维对混凝土的韧度有显著贡献。

3) 随钢纤维含量增加,钢纤维混凝土的疲劳寿命大幅度增加;其韧性明显增强,能够在更短的时间内抵抗相同压力,并且,在达到极限荷载后,残余强度的消散则需要更长一段时间。

4) 采用钢纤维是增加混凝土强度、韧度的有

效方法,钢纤维混凝土是一种很有应用前景的抗冲击、抗疲劳特性的材料。

以上试验是在钢纤维小含量情况下而做的,因此,对于中、高含量的钢纤维混凝土的力学性能有待进一步验证。

#### 参考文献:

- [1] 刘逸平,汤立群,黄小清,等. 钢纤维增强聚合物改性混凝土的疲劳损伤行为[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2007, (2): 18-22.
- [2] 曹国娥,曹琪. 影响中含量钢纤维高强砼强度若干因素的试验研究[J]. 湘潭矿业学院学报, 2001, (12): 55-58.
- [3] 潘丽云,张晓燕,赵顺波,等. 反复荷载作用下等径离心成型预应力钢纤维混凝土电杆试验研究[J]. 河南科学, 2005, (10): 708-711.
- [4] 严少华,钱七虎,姜锡全. 超短钢纤维高强混凝土静力与动力抗压特性对比试验及分析[J]. 混凝土与水泥制品, 2001, (1): 33-35.
- [5] 赵顺波,孙晓燕. 高强钢纤维混凝土弯曲直韧性试验研究[J]. 建筑材料学报, 2003, (1): 95-99.
- [6] 邓宗才,孙成栋. 钢纤维混凝土在低周反复荷载下力学性能的研究[J]. 工程力学, 2001, (6): 105-110.
- [7] 谢建斌,何天淳,程赫明,等. 循环荷载下路面用钢纤维混凝土的弯曲疲劳研究[J]. 兰州理工大学学报, 2004, (4): 104-109.
- [8] 黄泳宁,潘树青. 钢纤维混凝土在桥面铺装的应用与性能分析[J]. 广西城镇建设, 2006, (8): 74-76.
- [9] 欧阳辉,伍颖,杨军. 钢纤维对混凝土疲劳性能增强的研究[J]. 安全与环境工程, 2004, (3): 71-73.
- [10] 查全,肖建庄. 钢筋混凝土梁疲劳性能国内外研究综述[J]. 世界桥梁, 2004, (3): 30-34.
- [11] BYUNG HWAN OH, JAE YEOL CHO, DAE GYUN PARK. Static and fatigue behavior of reinforced concrete beams strengthened with steel plates for flexure [J]. ASCE Journal of Structural Engineering, 2003, 129(4): 527-535.

(责任编辑 闫纯有)

# 钢纤维混凝土动载疲劳特性的试验研究

作者: 石北啸, SHI Bei-xiao  
作者单位: 河北工程大学, 学生工作部, 河北, 邯郸, 056038; 西安理工大学, 岩土工程研究所, 陕西, 西安, 710048  
刊名: 河北工程大学学报(自然科学版) ISTIC  
英文刊名: JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING (NATURAL SCIENCE EDITION)  
年, 卷(期): 2008, 25 (2)  
被引用次数: 1次

## 参考文献(11条)

1. 刘逸平; 汤立群; 黄小清 钢纤维增强聚合物改性混凝土的疲劳损伤行为[期刊论文]-华南理工大学学报(自然科学版) 2007(02)
2. 曹国娥; 曹琪 影响中含量钢纤维高强砼强度若干因素的试验研究[期刊论文]-湘潭矿业学院学报 2001(12)
3. 潘丽云; 张晓燕; 赵顺波 反复荷载作用下等径离心成型预应力钢纤维混凝土电杆试验研究[期刊论文]-河南科学 2005(10)
4. 严少华; 钱七虎; 姜锡全 超短钢纤维高强混凝土静力与动力抗压特性对比试验及分析[期刊论文]-混凝土与水泥制品 2001(01)
5. 赵顺波; 孙晓燕 高强钢纤维混凝土弯曲直韧性试验研究[期刊论文]-建筑材料学报 2003(01)
6. 邓宗才; 孙成栋 钢纤维混凝土在低周反复荷载下力学性能的研究[期刊论文]-工程力学 2001(06)
7. 谢建斌; 何天淳; 程赫明 循环荷载下路面用钢纤维混凝土的弯曲疲劳研究[期刊论文]-兰州理工大学学报 2004(04)
8. 黄泳宁; 潘树青 钢纤维混凝土在桥面铺装的应用与性能分析[期刊论文]-广西城镇建设 2006(08)
9. 欧阳辉; 伍颖; 杨军 钢纤维对混凝土疲劳性能增强的研究[期刊论文]-安全与环境工程 2004(03)
10. 查全; 肖建庄 钢筋混凝土梁疲劳性能国内外研究综述[期刊论文]-世界桥梁 2004(03)
11. BYUNG HWAN OH; JAE YEOL CHO; DAE GYUN PARK Static and fatigue behavior of reinforced concrete beams strengthened with steel plates for flexure[外文期刊] 2003(04)

## 本文读者也读过(10条)

1. 朱劲松. 宋玉普 灰色理论在混凝土疲劳强度预测中的应用[期刊论文]-混凝土2002(6)
2. 林燕清. 欧进萍. Lin Yanqing. Ou Jinping 混凝土疲劳剩余寿命预测的变形演变决法定法[期刊论文]-工业建筑 1999, 29(9)
3. 赵志刚. 谭云亮. 王斐峰. ZHAO Zhi-gang. TAN Yun-liang. WANG Fei-feng 钢纤维混凝土试验研究与疲劳破坏模拟[期刊论文]-筑路机械与施工机械化2007, 24(2)
4. 张红 混凝土疲劳强度的试验检测探讨[期刊论文]-科技信息2008(26)
5. 王萱. 赵星明. 王建君. WANG Xuan. ZHAO Xing-ming. WANG Jian-jun 钢纤维混凝土在房屋建筑工程中的应用[期刊论文]-山东农业大学学报(自然科学版) 2006, 37(2)
6. 王禾稼. 雷建平 混凝土疲劳强度的试验研究概况[会议论文]-2006
7. 赵顺波. 钱晓军. 杜晖. Zhao Shunbo. Qian Xiaojun. Du Hui 钢纤维混凝土基本力学性能的尺寸效应试验研究[期刊论文]-港工技术2007(6)
8. 杨红亚. 董明思. 张帷. Yang Hongya. Dong Mingsi. Zhang Wei 柔性纤维水泥混凝土的疲劳特性试验研究[期刊论文]-公路交通技术2007(6)
9. 贡金鑫. 黄承逵. 赵国藩 钢纤维混凝土的抗折疲劳方程[期刊论文]-土木工程学报2001, 34(4)

10. 吕培印, 宋玉普 不同温度下混凝土抗拉疲劳性能试验研究[期刊论文]-工程力学2003, 20(2)

#### 引证文献(2条)

1. 张红 混凝土疲劳强度的试验检测探讨[期刊论文]-科技信息 2008(26)
2. 陈华艳, 毕贤顺 钢纤维混凝土超声-回弹测强曲线的建立[期刊论文]-黑龙江科技学院学报 2013(1)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_hbjzkjxyxb200802003.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200802003.aspx)