

钢纤维混凝土疲劳及 AE 特性试验研究

付小敏 王旭东 蔡国军

(成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室 四川成都 610059)

摘要 通过对粗骨料混凝土试件施加周期循环荷载前后的两次静载强度试验和声发射检测,得到试件两次静载强度试验的应力—应变全过程曲线和声发射信号,分析其变形、破坏以及声发射特征,得出试件的强度、变形及声发射特征的变化规律。

关键词 混凝土 疲劳强度 AE特性

1 前言

AE 检测(即声发射检测)是一种常用的动态的无损检测方法。当混凝土受到周期性动荷载作用时会发生疲劳损伤,产生声发射。近年来,很多学者对混凝土的疲劳破坏作了大量研究^{[1]-[3]},但对钢纤维混凝土在周期循环荷载作用前后及过程中的变形、破裂和声发射特征,以及利用 AE 检测方法对混凝土构件疲劳损伤情况检测研究得较少。本文通过对钢纤维混凝土试件施加周期循环荷载前后的静载试验和声发射检测,得到循环荷载作用前后静载条件下的应力—应变全过程变形曲线和声发射信号,分析其变形、破坏以及声发射特征,得到它们的强度、变形及声发射特征三者之间的对应关系。为声发射无损检测技术的完善和改进积累更丰富的资料。

2 试验方法

2.1 试验样品

试验所用样品为钢纤维混凝土,经磨片观测,混凝土的骨料全部由微晶或细晶灰岩碎屑组成,分布无规律呈分散状含于混凝土中,分布较均匀含量约 50%。如图 1 所示。试件为 5 cm × 5 cm × 10 cm 长方体,一次制作完成 6 个试件。混凝土的成分配比如表 1 所示。试件浇注一天后脱模,在水中标准养护,28 天后置于空气中自然干燥,试件龄期为 14 个月左右。

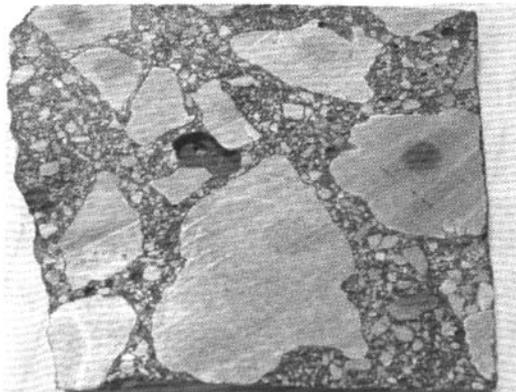


图 1 试件磨片图

表 1 钢纤维混凝土配比表

水胶比 w/c / $(kg \cdot m^{-3})$	水 / $(kg \cdot m^{-3})$	钢纤维 / $(kg \cdot m^{-3})$	速凝剂 / %	砂率 / %	砂 / $(kg \cdot m^{-3})$	石 / $(kg \cdot m^{-3})$
0.50	230	30.0	4.0	55	919	760

2.2 试验设备

本次试验所用加载设备是成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室在上世纪 90 年代初期从美国 MTS 公司引进的 MTS815 型数字伺服程控刚性试验机。

声发射检测设备是沈阳计算机技术研究设计院研发的 AE21C 声发射检测系统。

2.3 试验控制方式及控制参数

(1) 静载试验。首先对 3 个试件进行静载全过程试验,了解混凝土在静载条件下的强度及变形特征,得到抗压强度及应力—应变全过程曲线。据此求得 3 个试件的单轴抗压强度。然后对另 3 个试件进行疲劳振动(施加周期循环荷载)试验,用两个未破坏的试件再进行静载试验,得到其应力—应变全过程曲线。两次静载强度试验均采用轴向位移控制加载,速率为 10^{-5} mm/s。

(2) 疲劳试验。经首次静载试验,测定混凝土的抗压强度均值为 39.58 MPa,周期循环荷载的波形设定为正弦波,波形如图 2 所示。上、下限应力值分别为静载抗压强度的 60% 和 10%。振动频率为 1.5 Hz,振动次数为 75 000 次。

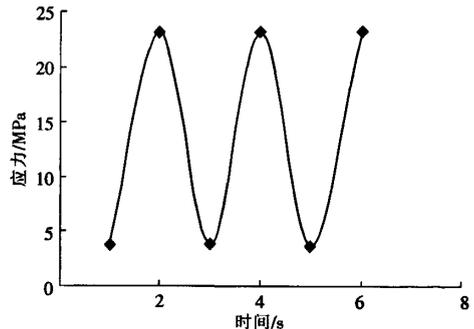


图 2 振动中施加的应力曲线图

(3) 声发射检测。当混凝土受到周期循环荷载作用时会发生疲劳损伤,有声发射产生。通过接受到的声发射信号可以间接地反映混凝土裂隙的发展情况。该次试验,通过监测疲劳振动前后静载试验混

付小敏,女,教授。

土声发射信号的变化情况，寻找混凝土裂隙发展与声发射信号的内在关系。在试验过程中，声发射波形采用突发波；增益和阈值分别为 20 dB 和 35 dB。采样时间为 0.1 s。声发射信号以能量计数率和能量累计计数形式表示。

3 混凝土变形破裂特征及声发射特性

(1) 疲劳振动前混凝土在静载作用下的变形破坏特征及声发射特性。其应力—应变全过程曲线如图 3 所示，曲线特征是，破裂后阶段为缓降性 I 型曲线。其变形破裂特征为，在峰值强度之后的变形为渐进性的稳定型破裂变形，应力降低缓慢。因峰值强度后采用加载速率为 10^{-5} mm/s 的位移控制，裂隙突然松弛、张裂，使岩石轴向的抵抗能力减弱。随着施加的位移逐渐增加，应力缓慢降低，试件出现渐进性破坏，破坏机制以细观上的剪切性破坏为主。声发射检测结果如图 4 所示，从图中可看出，在整个试验过程中声发射信号较均匀，基本上没有声发射信号集中区，说明混凝土在压缩过程中裂缝的出现是循序渐进的，不是突发性的。也就是说混凝土的破坏是渐进的，不会发生瞬间的崩溃。

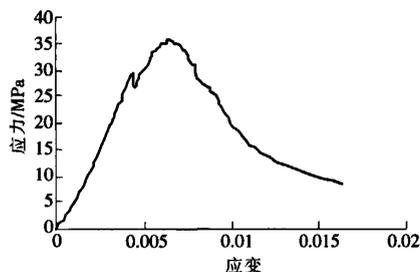


图 3 振动前静载作用下的全过程曲线图

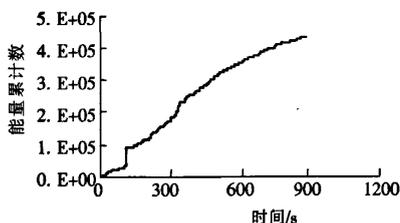


图 4 振动前静载作用下的声发射特征曲线图

(2) 疲劳振动后混凝土的变形破坏特征及声发射特性。其应力—应变全过程曲线如图 5 所示，曲线特征是，破裂后阶段为缓降性 I 型曲线。在峰值强度之后的变形仍为渐进性的稳定型破裂变形。加载初期较之疲劳振动前有明显的裂隙压密过程，说明混凝土在疲劳振动过程中，产生了系列小裂隙。破坏机制以细观上的剪切性破坏为主。声发射检测结果如图 6 所示，从图中可看出，加载初期无声发射出现，大约 150 s 后，荷载增加到 4 kN 时，出现声发射信号。在整个试验过程中声发射信号较均匀，没有突发信号。

4 不同受力条件下的变形特征和声发射特性分析

(1) 疲劳振动前后混凝土的变形破坏特征分析。

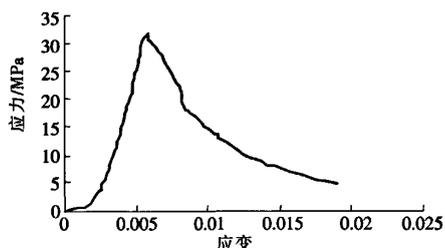


图 5 振动后静载作用下的全过程曲线图

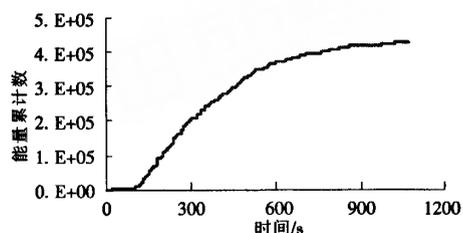


图 6 振动后静载作用下的声发射特征曲线图

比较振动前（图 3）、后（图 5）混凝土单轴压缩全过程曲线可知，振动后混凝土的破坏荷载峰值由震动前的 39.58 MPa 下降为振动后的 32.57 MPa；弹性模量由 6.25 GPa 降低到 3.78 GPa；破坏区所经历的时间较短，破坏后的应力下降较快；残余强度值由震动前的 7.54 MPa 下降为振动后的 5.64 MPa。说明经过疲劳振动后的混凝土强度降低，稳定性较差，抵抗破坏的能力减弱。

(2) 疲劳振动前后混凝土的声发射特性分析。从振动前（图 7）、振动后（图 8）应力和声发射特征对比图可看出：声发射信号变化比较均匀，没有明显的突变点，说明振动前后混凝土在承受静载的过程

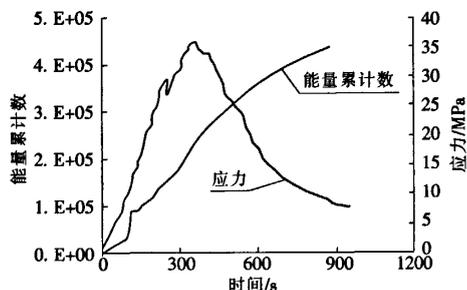


图 7 振动前应力与声发射特征对比图

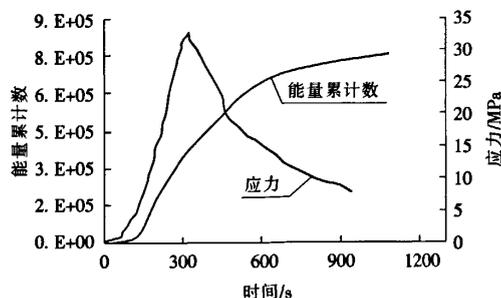


图 8 振动后应力与声发射特征对比图

机场水泥混凝土道面使用性能评价的可拓方法

白二雷¹ 许金余^{1,2}

(1, 空军工程大学工程学院 陕西西安 710038; 2, 西北工业大学)

摘要 建立了机场水泥混凝土道面使用性能评价的可拓评价模型。研究表明, 将可拓学应用于道面使用性能评价是可行的, 能够较好地反映各因素对道面使用性能的影响。

关键词 水泥混凝土道面 使用性能 可拓方法 物元

1 引言

机场道面使用性能的评定主要是通过对道面结构的完整性和表面使用功能的外观检查, 取得各种损坏类型、损坏程度和损坏数量的实际数据, 结合承载力的测试结果进行综合分析, 对道面状况作出正确评定。从根本上来讲道面使用性能评价的主要目的是全面准确地掌握机场道面的现状, 为机场运营管理部门提供科学的决策依据, 为道面整修提供可靠的技术参数, 确定经济、合理的维修周期, 制定相应的维护、大中修或改扩建方案。

可拓学是由我国学者蔡文于 1983 年提出的。它始于研究不相容问题的转化规律和解决方法, 通过引进物元 $R = (N, C, V) = (\text{物}, \text{特征}, \text{量值})$, 并对其变换和运算, 从而从定性和定量两个角度去研究和解决不相容问题的规律和方法。物元是可拓学的逻辑细胞之一, 是形式化描述物的基本元, 它把物的质与量有机地结合起来, 反映了物的质与量的辩证关系。可拓学自创立以来已取得了很大的发展, 并在一

白二雷, 男, 博士研究生。

中, 内部裂隙的产生、发展均是渐进的。两图中的声发射能量累计曲线表明, 振动后的曲线明显比振动前变化快, 即单位时间内振动后的能量累计数明显高于振动前, 由此可知, 混凝土在振动过程中, 虽然整体没有破坏, 但内部已产生了大量的微裂隙, 再承受静载作用, 将会产生大量的声发射信号。另外, 振动前后, 混凝土试件达到峰值强度的时间和声发射能量累计数的量值也有较大差异, 时间分别为 375 s 和 296 s, 能量累计数分别为 242 723 和 348 252, 这也说明混凝土经疲劳振动后, 强度降低了, 破坏的时间提前了 30 % 左右, 声发射能量累计数增加了 45 % 左右。上述分析, 说明混凝土经疲劳振动后, 在静载作用下, 声发射特征发生了很大变化。

5 结论

通过对钢纤维混凝土的静载、疲劳振动以及声发射特性试验, 得出以下初步认识。

(1) 钢纤维混凝土是一种较柔性的材料, 在静载试验过程中, 声发射信号较均匀, 一般不出现信号突变点。说明混凝土中的裂缝是逐渐增加的, 即混凝土的破坏是渐进的, 不会发生瞬间的脆性破裂。

些学科中得到了应用。笔者应用可拓方法对机场水泥混凝土道面的使用性能进行评价。

2 评价指标选取

机场水泥混凝土道面的使用性能指标包括道面的强度指标和表面性能指标。道面的强度可选取道面等级号 (PCN) 表示; 道面的表面性能可用平整度 (S)、摩擦系数 (f) 和破损度 (L) 表示。

道面的平整度采用 3 m 直尺测定; 摩擦系数采用摆式摩擦仪测定; 道面的破损度按式 (1) 计算^[1]。

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{N} \times 100\% \tag{1}$$

式中 d_i 为第 i 块损坏板的破损率; n 为损坏板块总数; N 为总板块数。

机场水泥混凝土道面表面性能的分类标准见表 1。

道面的强度可选取道面等级号 (PCN) 表示, 通报机场道面的强度, 除报出 PCN 值外, 还要报出道面的类型、地基强度、允许的轮胎压力以及评定的方

(2) 钢纤维混凝土在受周期循环荷载作用前后的静载试验中的变形破坏特征有较大差异。振动后混凝土的抗压强度较振动前下降了 15 % 左右, 弹性模量降低 60 % 左右; 破坏区所经历的时间较短, 破坏后的应力下降较快; 残余强度值降低 25 % 左右。说明经过疲劳振动后的混凝土强度降低, 稳定性较差, 抵抗破坏的能力减弱。

(3) 钢纤维混凝土在受周期循环荷载作用前后, 试件达到峰值强度的时间提前了 30 % 左右, 声发射能量累计数增加了 45 % 左右。说明混凝土在振动过程中, 虽然整体没有破坏, 但内部已产生了大量的微小裂隙, 在承受静载作用时, 将会产生大量的声发射信号。

参考文献:

[1] 吴永根、马国清等. 自密实道面混凝土弯曲疲劳特性 [J]. 混凝土, 2005, (1).
[2] 钟美秦、汪加蔚. 混凝土疲劳强度的研究 [J]. 铁道建筑, 1996, (9).
[3] 杨建辉、宋玉普等. 混凝土疲劳强度折减系数的模糊比较 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2002, (12).

收稿日期: 2006-10-31

碳纤维混凝土疲劳及AE特性试验研究

作者: [付小敏](#), [王旭东](#), [蔡国军](#), [Fu Xiaomin](#), [Wang Xudong](#), [Cai Guojun](#)
 作者单位: [成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 四川成都, 610059](#)
 刊名: [路基工程](#) **PKU**
 英文刊名: [SUBGRADE ENGINEERING](#)
 年, 卷(期): 2007, "" (6)
 引用次数: 0次

参考文献(3条)

1. [吴永根](#), [马国清](#) [自密实道面混凝土弯曲疲劳特性](#) [期刊论文]-[混凝土](#) 2005 (01)
2. [钟美秦](#), [汪加蔚](#) [混凝土疲劳强度的研究](#) 1996 (09)
3. [杨建辉](#), [宋玉普](#) [混凝土疲劳强度折减系数的模糊比较](#) [期刊论文]-[辽宁工程技术大学学报](#) 2002 (12)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [郭丽萍](#), [孙伟](#) [积分GM\(1, 1\)模型在混凝土疲劳强度预测中的应用](#) -[混凝土](#)2004, "" (8)
 本文应用灰色系统理论中的积分GM(1, 1)模型对混凝土疲劳强度进行了预测, 预测值与试验值吻合的很好. 说明对于象混凝土疲劳强度一样具有波动性的高散数据列, 积分GM(1, 1)模型具有更好的预测效果, 值得在混凝土疲劳强度预测中进行推广.
2. 学位论文 [孟宪宏](#) [混凝土疲劳剩余强度试验及理论研究](#) 2006
 在实际工程中许多混凝土结构除受静力荷载作用外, 还受到重复荷载作用, 这使得混凝土结构的疲劳破坏成为了一个被广泛关注的问题. 而混凝土结构的疲劳破坏主要是因为混凝土材料内部产生损伤导致其强度下降, 所以了解混凝土在疲劳荷载作用下剩余强度的变化规律具有很重要的实际意义. 本文结合国家自然科学基金项目——混凝土多轴变幅疲劳破坏准则(50078010)对不同侧压等级下混凝土的统一S-N曲线进行了研究.
 1. 进行了变截面棱柱体和立方体混凝土试件的疲劳剩余抗拉强度试验. 试验结果表明, 用先对试件疲劳一定次数, 再测定其静载强度的方法, 能够较好的揭示混凝土疲劳剩余强度的衰减规律. 由根据试验结果给出的P-R-N曲线(其中P为失效概率, R为剩余强度, N为疲劳次数)可以看出, 混凝土剩余强度的衰减有着很明显的“突然死亡”的特点.
 2. 利用可靠性理论对混凝土疲劳过程中的剩余强度进行研究, 得到了混凝土抗压和抗拉疲劳的P-R-N曲线. P-R-N曲线能在表示出剩余强度衰减的同时给出相应的保证率. 基于失效概率P=0.50时的P-R-N曲线可以对混凝土多级变幅疲劳剩余寿命进行预测, 预测结果的精度好于Miner准则.
 3. 无论是混凝土的抗压割线模量还是抗拉割线模量都随着疲劳次数的增加而衰减, 剩余割线模量与疲劳次数之间符合半对数关系, 而剩余割线模量与剩余强度的平方根之间有较好的线性关系.
 4. 利用疲劳过程中试件的最大应变定义的损伤变量, 物理意义明确, 测量方便. 损伤变量和抗压剩余强度、抗拉剩余强度之间有很好的线性关系, 而剩余强度衰减规律与损伤发展规律十分相似, 这表明剩余强度的衰减是由于混凝土内部的损伤引起的.
 5. 进行了定侧压混凝土双轴抗压疲劳剩余强度试验, 综合单轴及一向有侧压混凝土抗压疲劳剩余强度试验结果, 提出了同时考虑侧压应力比和疲劳荷载最大应力水平的统一公式. 将公式用于对混凝土疲劳剩余寿命的预测, 预测结果较为准确.
 6. 在大量的混凝土单轴、双轴和三轴抗压及抗拉压疲劳试验数据的基础上, 给出了综合考虑侧压应力水平的统一S-N曲线; 以S-N曲线为基础可以计算混凝土多轴受压疲劳强度, 对规范给出的疲劳强度折减系数进行了修正. 以水泥混凝土路面和混凝土海洋平台腿柱设计中过程中的疲劳验算为例, 将混凝土多轴变幅疲劳破坏准则用于实际工程的设计中, 效果良好.
 7. 基于边界概念和连续体损伤力学理论, 将混凝土看作是损伤各向异性材料, 建立了混凝土单轴拉、单轴压以及定侧压双轴压疲劳剩余强度衰减模型. 模型中损伤模量表达式中的D并非如单调加载和低周疲劳加载那样为一常数, 给出了D随剩余强度变化的关系式, 并确定了表达式中的参数. 通过本文试验结果, 验证了模型的有效性.
 8. 通过对高应力水平下的疲劳寿命试验数据进行分析处理, 建立了灰色马尔可夫链预测模型, 用该模型对低应力水平下的疲劳寿命进行预测. 通过对预测值和实验值的比较可知模型具有足够精度.
3. 期刊论文 [朱劲松](#), [宋玉普](#) [灰色理论在混凝土疲劳强度预测中的应用](#) -[混凝土](#)2002, "" (6)
 本文应用灰色系统理论对混凝土疲劳强度进行研究, 并建立了单变量的一阶灰色预测模型GM(1, 1), 对混凝土的疲劳强度进行预测. 通过与试验值的比较, 证明这种预测方法是简便易行、可靠的, 也是一种可以大大减少试验工作量, 缩减试验周期的疲劳强度预测方法.
4. 期刊论文 [张红](#) [混凝土疲劳强度的试验检测探讨](#) -[科技信息](#)2008, "" (26)
 混凝土疲劳强度的试验检测对于既经济又安全合理地进行结构设计以及指导结构的维修有非常重要的理论意义和经济效益. 本文对单向应力状态与复杂应力状态的混凝土疲劳强度试验进行了分析和探讨, 可供实际工程参考.
5. 学位论文 [王柯](#) [圆管—圆管混凝土T型焊接节点热点应力和疲劳强度研究](#) 2008
 因优良的结构性能和柔和明快的外观, 圆管结构已在国内外的土木、建筑、海洋、机械等结构中得到普遍应用. 在圆管桁架的主管里填充混凝土又是一种新型的钢—混组合结构, 可显著提高圆管桁架整体的承载能力, 近年来我国已越来越多地应用于大跨度桁式拱桥, 至今最大的跨度为460米的巫峡长江公路大桥. 有关钢管混凝土焊接节点疲劳性能, 目前还缺乏了解和研究, 但是钢管混凝土桁式拱桥日益增长的应用已表明节点疲劳性能研究的需要. 本文所研究的内容是国家自然科学基金课题的一部分, 针对圆管—圆管混凝土T型节点的疲劳性能展开深入的研究.
 本文首先对钢管结构的发展、钢管焊接节点与钢管混凝土焊接节点疲劳强度的研究进展进行了总结, 介绍了疲劳问题的基本概念和常用钢管焊接节点疲劳设计的方法, 并对本文采用的热点应力法的诸多方面进行了详细的介绍.
 利用热点应力法分析节点的疲劳性能, 首先要了解节点的应力分布特性. 为此, 本文设计了一批包含各种典型几何参数和混凝土标号的钢管混凝土T型节点试件, 对圆管支管—圆管混凝土主管焊接节点分别在支管轴力和平面弯矩作用下的热点应力及其应力集中系数SCF进行了试验研究. 内容包括加载系统的设计、节点区局部应力梯度的精确测量、试验结果的分析、应变外推方法的比较等, 为后续大规模的有限元分析的可靠性提供了依据.
 本文采用实体单元对14个完成试验的试件进行了有限元计算, 对照试验结果, 从单元的类型、精度、网格划分、建模参数、接触因子、外推方法等多方面检验了有限元计算钢管混凝土焊接节点的有效性, 并且应用有限元分析了热点应力集中系数SCF和热点应力集中系数SNCF之间的关系.
 本文对国外已有的空钢管SCF计算公式进行了剖析, 揭示了各个参数对于节点SCF的影响效应, 确定了钢管混凝土节点参数分析需重点考虑的参数. 进行了有限元参数分析, 掌握了各几何参数变化对SCF的影响规律. 本文推导了等效钢管壁厚计算公式, 提出了依据等效壁厚、利用空钢管SCF公式来计算钢管混凝土节点SCF的方法, 并且利用有限元数据和试验数据对此方法进行了验证.
 本文对11个焊接节点(1个空钢管焊接节点, 10个钢管混凝土焊接节点)进行了轴拉力作用下的疲劳试验. 为了了解节点相贯焊缝处的焊缝缺陷是否对节点的疲劳性能产生重要影响, 在试验之前, 对进行疲劳试验的节点进行了无损检测. 节点疲劳试验时, 对疲劳裂纹的萌生位置、扩展路径、最后断裂

作了全过程监测。

对疲劳试验结果进行数理统计,提出了适用于圆钢管混凝土T型焊接节点的S-N疲劳强度曲线和疲劳设计方法,并与CIDECT、AWS、API、DNV等规程的S-N曲线进行了比较。最后用实例详细说明了如何应用热点应力法进行圆管-圆管混凝土T型焊接节点的疲劳验算。

6. 期刊论文 [郑日男, 隋欣, 曹伟 基于模糊理论的混凝土疲劳强度计算模型](#) - [沈阳建筑工程学院学报\(自然科学版\)](#)

2003, 19(3)

分析了混凝土常规疲劳试验结果具有很大离散性的原因;分析得到疲劳寿命概率分析方法和初始强度概率分析方法计算疲劳强度标准值具有一致性;从这一结论出发利用模糊数学和统计理论对常规混凝土疲劳试验结果进行模糊可靠性分析,材料强度采用正态分布,模糊隶属函数采用工程上常用的降半梯形分布,进而得到计算疲劳强度标准值的方法。

7. 会议论文 [王禾稼, 雷建平 混凝土疲劳强度的试验研究概况](#) 2006

疲劳强度在混凝土建筑结构的设计、施工中都非常重要,为了进行混凝土建筑结构的疲劳强度计算,必须要进行混凝土疲劳强度的试验研究。可见,混凝土疲劳强度试验研究的重要性,本文综述了混凝土疲劳强度研究的发展过程,及疲劳强度的试验研究情况,并对这一研究现状和发展趋势进行了评述。

8. 学位论文 [张绍亮 混凝土结构疲劳强度验算方法的研究](#) 1998

该文根据国内外对混凝土结构疲劳性能研究的试验结果和有关规范现状,提出一种分级验算疲劳强度的方法。第一级确定不需要进行疲劳强度验算的结构或构件的范围。第二级为简化方法验算疲劳强度,该方法与《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)中的验算方法类似,但在确定混凝土疲劳强度时分别给出其抗压疲劳强度修正系数和抗拉疲劳强度修正系统,在确定钢筋疲劳强度时采有力变形的形式表达。修改了规范GBJ-89对C45~C60级混凝土强度取值方法,将混凝土强度等级扩大到C80,给出了高强混凝土强度、弹性模量、疲劳变形模量及疲劳强度修正系数。借鉴规范GBJ10-89中计算机预应力混凝土受弯构件裂缝宽度的公式,提出了部分预应力混凝土受弯构件截面开裂后的预应力钢筋、非预应力钢筋、混凝土的应力及受压区高度的计算公式。通过引入面积折算系数,给出无粘胶部分预应力混凝土受弯构件截面开裂后的应力计算公式。从研究剪压区混凝土所能承受的剪力入手,推导出弯筋及箍筋应力的计算公式,讨论了预应力混凝土结构截面疲劳强度验算方法。在分析有关试验资料的基础上,给出了简便的计算重复荷载作用下的刚度及裂缝宽度的方法,计算结果和试验结果符合较好。第三级为基于可靠度理论的等效重要应力分项系数法,对混凝土结构受弯构件正截面基于可靠度理论的设计方法做了初步探讨,介绍了等效幅重复应力分项系数法在工程中的应用。

9. 会议论文 [李建辉, 邓宗才, 刘国栋 高性能腈纶纤维增强混凝土的韧性及弯曲疲劳特性](#) 2005

本文试验研究了腈纶纤维增强混凝土的弯曲疲劳强度、疲劳寿命,通过与素混凝土比较,研究了纤维混凝土的基本力学性能。试验结果表明:基于美国ASTM和日本JCI方法,腈纶纤维增强混凝土韧性指数I5、I10分别是素混凝土的3.8~4.2倍和5.8~6.8倍,等效弯拉强度为0.63~0.87MPa;疲劳强度相比素混凝土提高了12%。

10. 学位论文 [杜云 混凝土及钢筋混凝土梁的疲劳试验研究](#) 1997

该文在论述了混凝土材料疲劳研究现状的基础上,主要开展了以下几方面的工作:1. 根据60个水泥砂浆试件的等幅低频压缩疲劳试验,对其应变,AE测试结果进行了分析与考察,阐明了混凝土的基础疲劳特性及在疲劳损伤过程中混凝土的AE特性,为应用AE无损检测技术奠定试验基础;2. 在空气中对19根钢筋混凝土梁用不同应力水平进行弯曲疲劳试验,钢筋混凝土梁的破坏形式呈多样化。按破坏形式不同,分类研究应力水平对破坏形式的影响,并对钢筋混凝土梁表面裂纹扩展进行了跟踪观测;3. 在水中32根钢筋混凝土梁进行了剪切疲劳试验。通过对剪切疲劳抗力、箍筋和混凝土的应变变化的测试分析,得出钢筋混凝土梁剪切疲劳破坏的控制因素,为钢筋混凝土抵抗剪切疲劳破坏提供设计基础。

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_ljgc200706017.aspx

下载时间: 2010年5月27日