

## 一、提名项目：超高周疲劳特征区理论与模型

## 二、提名者：中国力学学会

## 三、提名意见

该项目针对超高周疲劳新领域，创立了特征区新理论及其模型。其内涵是：1.国际上首次提出了超高周疲劳特征区新概念及其物理模型，揭示了其特征量是伯格矢量量和剪切模量的函数，创造性提出了裂纹面相互作用的 NCP (Numerous Cyclic Pressing) 模型，解释了特征区形成机理。2.系统揭示了应力比、加载频率、环境介质和缺口约束对特征区行为的影响规律。3.建立了基于特征区理论的模型，阐明了解理型裂纹起源随应力比变化的规律，解释了裂纹表面萌生和内部萌生的竞争规律，给出了超高周疲劳寿命与材料强度和夹杂物尺度的关联。特征区概念发展了超高周疲劳的科学理论，NCP 学术观点颠覆了已有超高周疲劳裂纹萌生模型，被国内外一系列研究结果证实，引领了国际超高周疲劳研究新热点。超高周疲劳的若干顶尖专家：Bathias, Paris, Murakami, Sakai, Sander, Mayer 的论文分别长篇幅重点引述该项目的成果，作为他们的基本依据或作为重要新进展。8 篇代表性论文他引 396 次 (WOS, CNKI)。与法国、日本、德国、奥地利、美国的超高周疲劳顶尖团队相比，近十年该项目在相关最重要国际会议的大会特邀报告次数和论文被引次数均明显领先。

我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关内容符合国家科技奖的提名要求。

提名该项目为国家自然科学奖二等奖。

## 四、项目简介

超高周疲劳 ( $10^7$  周次以上的疲劳破坏) 是固体力学“疲劳”与“断裂”方向的新领域，其挑战了传统  $10^7$  周次定义的疲劳极限概念，衍生了不同于传统疲劳机制的新科学问题；飞机、高铁、核电等相关结构需要  $10^9$  甚至  $10^{11}$  周次的安全服役寿命。因此，迫切需要建立超高周疲劳新理论和寿命预测模型。

该项目独特创立了超高周疲劳特征区新理论，内涵如下：

1. **首次提出了超高周疲劳特征区新概念及其物理模型** (NCP, Numerous Cyclic Pressing) (代表性论文 1, 2, 3)：提出了超高周疲劳特征区新概念，揭示了高强合金超高周疲劳裂纹萌生区的应力强度因子幅阈值为伯格矢量和剪切模量的函数；发现该特征区为纳米晶层，创造性提出了裂纹面相互作用的 NCP 模型解释其形成机理。该学术观点颠覆了已有超高周疲劳裂纹萌生模型，被国内外一系列研究结果证实，引领了研究新热点。第 2 届国际超高周疲劳大会主席 Mayer (引文 1)、德国 Helmholtz 国家研究中心 Kashaev (引

文 2)、欧洲断裂大会 (ECF21) 特邀大会报告者 Sander (引文 3) 以特征区理论的内涵和 NCP 模型为基本依据, 表征了超高周疲劳裂纹萌生过程。

2. **首次发现加载应力比、加载频率、环境介质和缺口约束对超高周疲劳特征区行为的影响规律** (代表性论文 3, 4, 5, 6, 7): 发现钛合金超高周疲劳解理型裂纹萌生比例与应力比呈正相关、特征区内位错运动距离变化导致超高周疲劳行为的加载频率效应、环境介质显著弱化高强钢超高周疲劳强度的行为与特征区演化相关联、缺口约束显著降低超高周疲劳强度。第 3 届超高周疲劳大会主席 Sakai (引文 4)、第 2 届超高周疲劳大会主席 Mayer (引文 5)、超高周疲劳大会首届主席 Bathias 和疲劳领域最顶尖专家 Paris (引文 6), 波兰学者 Szymczak (引文 7) 等将该成果作为重要新进展, 大篇幅重点引述。
3. **独创建立了超高周疲劳特征区演化和寿命预测模型** (代表性论文 4, 6, 7, 8): 建立了泊松缺陷分布模型, 阐明了特征区解理型裂纹起源随应力比变化的规律; 建立了特征区裂纹萌生竞争模型, 阐明了晶粒尺寸、夹杂物尺寸和材料强度对裂纹表面萌生和内部萌生的竞争规律; 建立了基于特征区尺寸的寿命模型, 阐明了疲劳寿命与材料强度、特征区尺寸和夹杂物尺寸的内在关联。超高周疲劳大会首届主席 Bathias 和疲劳领域最顶尖专家 Paris (引文 6)、波兰学者 Szymczak (引文 7) 和 Paris 奖获得者、日本工程院院士 Murakami (引文 8) 重点引述该成果。

该项目发展了超高周疲劳的科学理论, 引领了超高周疲劳研究新发展。8 篇代表性论文他引 396 次 (WOS, CNKI)。代表性论文 3 和 1 分别是 Int J Fatigue 2016 和 2014 年度被引次数排名第一和第二的研究论文。代表性论文 8 获 Fatigue Fract Eng Mater Struct 2012 年度高引论文奖。与法国、日本、德国、奥地利、美国的超高周疲劳的顶尖团队相比, 近 10 年该项目在相关领域最重要国际大会的大会特邀报告次数和论文被引次数均明显领先。

## 五、代表性论文

序号	论文（专著）/刊名/作者	年卷页码	发表时间
1	Propensities of crack interior initiation and early growth for very-high-cycle fatigue of high strength steels / <i>International Journal of Fatigue</i> / Youshi Hong*, Zhengqiang Lei, Chengqi Sun, Aiguo Zhao	2014; 58: 144–151	2013.3.14
2	Prediction of threshold value for FGA formation / <i>Materials Science and Engineering A</i> / Aiguo Zhao, Jijia Xie, Chengqi Sun, Zhengqiang Lei, Youshi Hong*	2011; 528: 6872–6877	2011.6.23
3	The formation mechanism of characteristic region at crack initiation for very-high-cycle fatigue of high-strength steels / <i>International Journal of Fatigue</i> / Youshi Hong*, Xiaolong Liu, Zhengqiang Lei, Chengqi Sun	2016; 89: 108–118	2015.12.12
4	Effects of stress ratio on high-cycle and very-high-cycle fatigue behavior of a Ti-6Al-4V alloy / <i>Materials Science &amp; Engineering A</i> / Xiaolong Liu, Chengqi Sun, Youshi Hong*	2015; 622: 228–235	2014.10.7
5	Effects of strength level and loading frequency on very-high-cycle fatigue behavior for a bearing steel / <i>International Journal of Fatigue</i> / Aiguo Zhao, Jijia Xie, Chengqi Sun, Zhengqiang Lei, Youshi Hong*	2012; 38: 46–56	2011.12.2
6	Experimental and theoretical investigation of environmental media on very-high-cycle fatigue behavior for a structural steel / <i>Acta Materialia</i> / Guian Qian, Chengen Zhou, Youshi Hong*	2011; 59: 1321–1327	2010.12.2
7	Investigation of high cycle and very-high-cycle fatigue behaviors for a structural steel with smooth and notched specimens / <i>Engineering Failure Analysis</i> / Guian Qian*, Youshi Hong, Chengen Zhou	2010; 17: 1517–1525	2010.6.22
8	A cumulative damage model for fatigue life estimation of high-strength steels in high-cycle and very-high-cycle fatigue regimes / <i>Fatigue &amp; Fracture of Engineering Materials &amp; Structures</i> / Chengqi Sun, Jijia Xie, Aiguo Zhao, Zhengqiang Lei, Youshi Hong*	2012; 35: 638–647	2012.7.1

## 六、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位
洪友士	1	无	研究员	中国科学院力学研究所	中国科学院力学研究所
孙成奇	2	无	研究员	中国科学院力学研究所	中国科学院力学研究所
钱桂安	3	无	正高级工程师	中国科学院力学研究所	中国科学院力学研究所
刘小龙	4	无	副研究员	北京交通大学	中国科学院力学研究所
赵爱国	5	无	高级工程师	中国船舶重工集团公司第七一九研究所	中国科学院力学研究所

对该项目贡献：

**第一完成人洪友士：**是该项目负责人，指导项目研究，提出研究思路和方案并直接参与研究过程，对所有三项重要发现均做出关键贡献，是“提出超高周疲劳裂纹萌生特征区的新概念和 NCP 模型”的主要贡献者。

**第二完成人孙成奇：**是该项目主要参与者，对所有三项重要发现均有重要贡献，是“建立基于超高周疲劳特征区尺寸演化的疲劳寿命预测模型”的主要贡献者。

**第三完成人钱桂安：**是该项目主要参与者，对第二、第三项重要发现有重要贡献，是“揭示环境介质和缺口约束显著弱化高强钢超高周疲劳强度的行为”和“建立特征区裂纹萌生竞争模型”的主要贡献者。

**第四完成人刘小龙：**是该项目主要参与者，对所有三项重要发现均有重要贡献，是“揭示钛合金超高周疲劳解理型裂纹萌生比例与应力比呈正相关”和“建立了基于特征区行为的泊松缺陷分布模型”的主要贡献者。

**第五完成人赵爱国：**是该项目主要参与者，对第一、第二项重要发现有重要贡献，是“揭示高强合金超高周疲劳裂纹萌生区的应力强度因子幅阈值为伯格矢量量和剪切模量的函数”和“特征区内位错运动距离变化导致超高周疲劳行为的加载频率效应”的主要贡献者。