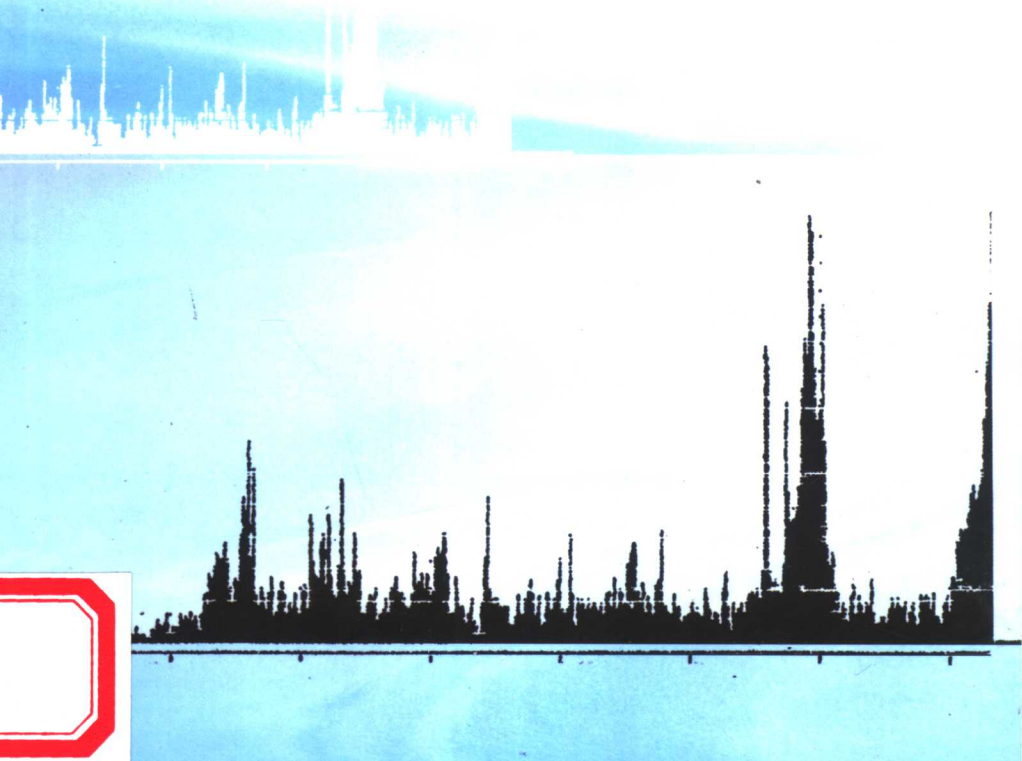


纪洪广 著

混凝土材料声发射性能 研究与应用



煤炭工业出版社

混凝土材料声发射性能 研究与应用

纪 洪 广 著

煤 炭 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土材料声发射性能研究与应用/纪洪广著. —北京:
煤炭工业出版社, 2004

ISBN 7—5020—2481—6

I. 混… II. 纪… III. 混凝土—声发射—研究
IV. ①TU528.01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 048542 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 850mm × 1168mm $1/32$ 印张 $6\frac{1}{8}$
字数 144 千字 印数 1—1,000
2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷
社内编号 5252 定价 26.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

前 言

声发射 (Acoustic Emission, 简称 AE) 是材料内部由于局部应变能的快速释放而产生的瞬时弹性波。声发射技术则是根据材料或者结构内部发出的这种弹性波来判断材料或者结构内部损伤程度变化的一种无损检测方法。声发射检测的突出特点是动态和适时, 即可以连续地检测材料或者结构内部形变或损伤演化的全部过程。也正是由于这一特点, 近年来, 声发射技术在材料工程、压力容器评价、结构完整性估计、焊接质量控制、管线泄漏探索、机械设备在线监测、地应力测量等领域得到广泛应用, 涉及材料、化工、地质、水电、土木工程等多个学科。

在我国, 对声发射技术的研究是大约从 20 世纪 70 年代才开始的。经过广大工程技术人员几十年的努力, 声发射技术取得了突飞猛进的发展。Thomas F. Drouillard 在回忆近半个世纪以来声发射技术的发展时曾经称赞说: “中国在近十几年里, 在声发射技术的研究和应用方面都取得了令人瞩目的成就!”。尤其是在 20 世纪末和 21 世纪初, 随着声发射研究程度的不断深入和应用范围的不断扩大, 尤其是微电子技术的崛起和计算机技术的飞速发展, 声发射技术的研究和应用也不断注入新的活力。

混凝土是一种最为普通的建筑工程材料, 其应用范围之广、安全性之重要是众所周知的。因而将声发射技术应用到混凝土材料或混凝土结构的检测中来也是很自然的事情。过去和现在对混凝土声发射技术的研究主要集中在混凝土材料声发射基本属性、混凝土中裂纹的产生和扩展的规律、混凝土的失稳模式同声发射间的关系、裂纹缺陷定位技术、凯塞效应机理及其在混凝土材料

中的应用等方面。随着科技的发展,对混凝土声发射技术的研究也发展很快,这主要表现在,对混凝土的声发射研究内容方面日趋深入,从单轴状态到三轴状态,从单因素分析到多因素分析等。供使用的仪器设备功能不断增强,不仅开发出了为混凝土材料专用的实验室声发射仪器,而且开发出了供野外大型工程结构实行监测的专用仪器。

本书共分9章,第1章为绪论,第2章介绍了有关声发射方面的基础知识,第3章介绍了有关混凝土材料自身结构中不同因素对其声发射性能影响方面的研究成果,包括配合比、水灰比、龄期、强度、骨料性能等内部因素,也包括诸如加载方式、加载设备性能等外部因素的影响。第4章介绍了在不同受力条件下混凝土材料声发射基本特征方面的试验研究和所取得的部分成果。第5章则从声发射过程的概念出发,介绍了将非线性理论用于分析和研究声发射过程非线性特性以及如何建立材料的力学过程与声发射过程关系方面的研究和探索。第6章介绍了关于声发射凯赛效应的有效性方面的实验及其结果。第7章主要介绍了声发射与应力、应变及损伤等力学参量之间的相关关系及相互耦合关系。第8章介绍了利用声发射技术研究混凝土材料断裂行为和断裂过程方面的成果。第9章介绍了声发射技术在岩土工程方面的应用实例和相关的分析方法。本书组织了大量试验资料,并附有大量图表来说明实验结果和基本观点,以求更易于理解和讨论。

本书援引了大量国内外有关声发射技术研究和应用,尤其是关于混凝土材料声发射技术研究方面的论文和报告,在此,谨向参考文献的作者表示感谢。同时,感谢作者的博士生导师东北大学李造鼎教授的指导和帮助。另外,作者的许多成果是在从事博士后研究工作期间,在北京科技大学土木与环境工程学院蔡美峰教授的指导和帮助下取得的,在此致以诚挚谢意。

本书中阐述了许多有关声发射技术和应用方面的新观点和新

方法，其中尚有许多问题有待进一步研究和分析。鉴于作者水平所限，书中疏漏和谬误之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2003 年 11 月 26 日于北京

Abstract

Acoustic Emission (AE) is a kind of immediate elastic wave due to the rapid releasing of local strain energy within material. AE technology is one of non - destructive testing methods to detect the damage in materials or structures by the use of this kind of elastic wave. The most advantage of AE technology is that it can give a dynamic and time - dependent description on the full process of deformation or the evolution of damages inside the materials. It is because of this advantage, AE technology in recent years is widely used in material engineering, structure perfection evaluation, high - pressure vessel evaluation, weld quality control, pipeline leakage detection, equipment online monitoring, geo - stress measurement, referring to materials, chemical, geology, hydraulic power, and civil engineering etc..

Since concrete is one of the most common materials in construction engineering, the application of AE technology on concrete material created a very effective way on the detection of such a mass - using material. Many researches were conducted; most of them are focused mainly on the properties of AE, the occurrence and growth of cracks in concrete, the correlations of concrete structure failure and the AE, the tracing and localization of cracks and faults, Kaiser - effect and its application on concrete material. With the advance of technology, experts are now finding more and more approaches to apply AE to the investigation of concrete material: say, from uniaxial analysis to triaxial analysis, from single - factor analysis to multi - factors analysis; and new developed AE apparatus, equipments enhanced the detection level both in the lab and at the field.

This book, begins with the basic concepts of AE, will conduct a systematic analysis and description on the research and application of AE

technology. It consists the following contents: (1) Introduction; (2) Fundamentals of AE technology; (3) Experimental research on the effect of concrete structure to its AE properties. (4) Experimental research on concrete AE properties subjected to different load conditions; (5) Non – linear analysis and its application on concrete AE, investigation of the correlations between mechanical process and AE process of concrete material; (6) The study of Kaiser – effect; (7) The correlations and coupling between AE and strain, stress, damage; (8) Investigation of the fracture behaviors and process of concrete with the use of AE; (9) the application of AE in geo – engineering and its analysis method. This book is based on a large lection of many experiments, showing through data, figures and tables. It is convenient to use this book as a reference.

This book is to discuss some new theories and methods on AE. Some of them are still in the process of exploration. It remains many problems to be investigated further. It would be my pleasure to hear any feedback from the readers, because your concern will be the best rewards to the author.

Author

2003.11.26

目 录

§ 1. 绪 论	1
1. 声发射研究历史的回顾	1
2. 混凝土声发射技术研究的历史与现状	2
3. 混凝土材料声发射技术发展的分析、评价与 展望	6
主要参考文献	9
§ 2 声发射基础知识	13
1. 声发射与声发射技术	13
2. 声发射检测仪器	15
3. 声发射参数及其分析与评价	18
4. 声发射源及混凝土材料声发射机理分析	25
主要参考文献	32
§ 3 混凝土材料自身结构因素对声发射基本性能 影响的试验研究	34
1. 引 言	34
2. 混凝土材料的内部结构特征	35
3. 骨料性能对声发射活性的影响	36
4. 龄期对声发射性能的影响	41
5. 水灰比对声发射性能的影响	44
6. 强度对声发射性能的影响	45
7. 试件大小对声发射活性的影响——声发射的	

尺寸效应	47
8. 孔隙率对声发射性能的影响	48
9. 加载设备的刚度对声发射性能的影响	51
10. 本章小结	52
主要参考文献	53
§ 4 在不同受力条件下混凝土材料声发射基本特征的	
试验研究	54
1. 概 述	54
2. 压缩条件下混凝土试块的声发射特性	54
3. 拉伸条件下混凝土试块的声发射特性	62
4. 混凝土材料在受压全过程的声发射特征	64
5. 温度变化时混凝土材料的声发射特征	66
6. 混凝土干缩过程中的声发射特征	70
7. 混凝土材料在劣化过程中的声发射	
特征	73
8. 本章小结	76
主要参考文献	77
§ 5 混凝土材料声发射过程非线性特征的试验研究	79
1. 声发射过程的概念	79
2. 声发射过程的自相似特征	82
3. 声发射过程的分形特征	85
4. 声发射过程的空间自组织演化特征	90
5. 声发射过程的突变特征	94
6. 声发射过程的其他属性	99
主要参考文献	100

§ 6 混凝土材料声发射凯塞效应试验研究	102
1. 引 言	102
2. 混凝土凯塞效应有效性实验研究	103
3. 混凝土材料声发射弗勒斯特效应及其与凯塞 效应的关系	111
4. 本章小结	119
主要参考文献	120
§ 7 混凝土损伤的声发射模式以及声发射参量与 应力-应变参量的耦合关系	122
1. 引言	122
2. 混凝土材料损伤的声发射模式	123
3. 混凝土材料应力、应变、声发射参量 耦合关系的试验研究	128
4. 声发射技术在混凝土材料可靠性评价 中的应用	134
5. 本章小结	137
主要参考文献	138
§ 8 混凝土材料声发射与断裂关系的试验研究	139
1. 引言	139
2. 混凝土的微观结构及断裂过程中的 声发射现象	140
3. 混凝土临界断裂的声发射识别特征	148
4. 混凝土材料临界断裂的声发射判据	158
5. 本章小结	159
主要参考文献	160

§ 9 声发射技术在岩土工程中的应用	161
1. 引言	161
2. 声发射技术在深部岩体稳定性监测与评价 方面的应用	162
3. 声发射技术在岩石基复合材料支护巷道 稳定性监测与分析中的应用	170
4. 声发射技术在滑坡监测及预报中的应用	175
主要参考文献	177

Content

Chapter 1 Introduction	1
1. The historic review of Acoustic Emissions	1
2. The history and present situation on the study of concrete AE technology	2
3. Analysis evaluation and fore last on the deveupment of concrete material AE technology	6
References	9
Chapter 2 Fundamentals of Acoustic Emissions	13
1. Acoustic Emissions and acoustic emissions technology	13
2. Apparatuses for AE detection	15
3. Parameters of AE, its analysis and evaluation	18
4. Acoustic emission source and AE mechanism analysis of concrete material	25
References	32
Chapter 3 Experimental research on the influence of structure of concrete to its AE properties	34
1. Introduction	34
2. The micro - structure of concrete	35
3. Influence of aggregate properties on the properties of AE activities	36
4. Influence of concrete age on the properties of AE	41

5. Influence of water cement ratio on the properties of AE	44
6. Influence of concrete strength on the properties of AE	45
7. Influence of specimen unit size on the properties of AE – the scale effect of AE	47
8. Influence of pore ratio on the properties of AE	48
9. Influence of the stiffness of loading equipment on the properties of AE	51
10. Summary	52
References	53

Chapter 4 Experimental researches on concrete AE

properties subjected to different load

conditions 54

1. Introduction	54
2. Concrete AE properties under compressive condition	54
3. Concrete AE properties under tensile condition	62
4. Experimental researches on concrete AE properties under full compressive process	64
5. Concrete AE properties subjected to temperature variation	66
6. Concrete AE properties subjected to dry shrinkage	70
7. Concrete AE properties subjected to deterioration	73
8. Summary	76
References	77

Chapter 5 Non – linear analysis and its application on

concrete AE 79

1. concept of AE process	79
2. The self – similarity characteristics of AE process	82

3. Fractal characters of AE process	85
4. Space – reorganizing property of AE process	90
5. The catastrophe in AE process	94
6. Other property of AE process	99
References	100

Chapter 6 Experimental research on the applicability of Kaiser – effect on concrete AE

102

1. Introduction	102
2. Experimental study on Kaiser – effect of concrete	103
3. Experimental study on relationships between Felicity – effect and Kaiser – effect of concrete	111
4. Summary	119
References	120

Chapter 7 The AE model of concrete damage and the experimental approach to the coupled constitutive relations between the AE parameter and stress – strain

122

1. Introduction	122
2. The AE model of AE due to concrete damage	123
3. Experimental research on the coupled constitutive relation between the stress, strain and AE parameters	128
4. Concrete material safety evaluation with the application of stress – strain and AE detection method, and its results comparison	134
5. Summary	137
References	138

Chapter 8 Experimental research on the relationship of concrete fracture and its AE	139
1. Introduction	139
2. The micro - structure of concrete and its AE accompanied in fracturing	140
3. Recognition character of AE at the critical fracture of concrete	148
4. The criteria of AE on the critical fracture of concrete	158
5. Summary	159
Reference	160
Chapter 9 The application of AE at geo - engineering	161
1. Introduction	161
2. Application of AE technology on stability monitoring and evaluation in deep rock strata	162
3. Application of AE technology on stability monitoring and analysis of tunnels supported by rock and combined materials	170
4. Application of AE technology on the monitoring and prediction of slope slide	175
References	177

§ 1 绪 论

1. 声发射研究历史的回顾

声发射 (Acoustic Emission, 简称 AE) 是材料内部由于局部应变能的快速释放而产生的瞬时弹性波。在早期, 人们只是把材料的声发射作为一种自然现象进行观察和描述。1950 年, 德国的凯塞 (Kaiser) 发表了他的博士论文^[1]。他将声发射同材料的力学过程联系起来, 发现并详细研究了金属材料声发射过程的不可逆性 (即所谓的“凯塞效应”)。凯塞博士的工作是声发射技术发展史上的一个重要标志。至今有关凯塞效应的研究仍然是研究的一个热点问题, 也是声发射应用的一个重要方面。

20 世纪 50 年代末, 声发射技术研究的重点转移到了美国。1954 年, Schofield^[2]开始了将声发射技术应用于材料工程领域的研究。1957 年, Tatro 和 Schofield^[3]合作, 一方面研究声发射产生的物理机理, 同时将声发射作为一种工具和手段来研究某些工程材料的力学性质。Dunegan^[4]于 1963 年开始研究如何将声发射技术应用于压力容器的检测, 并于 1969 年同 Knauss^[5]合作成立了第一家专门生产声发射仪器的公司。Pollock^[6]则用声发射技术来研究裂纹的生长。后来, 随着声发射研究程度的不断深入和应用范围的不断扩大, 尤其是微电子技术的崛起和电子计算机的出现, 不仅出现了商品声发射检测仪器, 而且其功能也日臻完善。于是, 声发射技术开始在各国受到重视。

在中国, 对声发射技术的研究是从 20 世纪 70 年代开始的。声发射技术在中国发展的主要特点是自开始起就以实际应用为目的。到目前为止, 已在材料工程、压力容器评价、结构完整性估