

地质和岩土工程分布式光电传感监测技术现状和发展趋势——第四届 OSMG 国际论坛综述*

朱鸿鹄 施斌

(南京大学地球科学与工程学院 南京 210093)

摘要 第四届地质(岩土)工程光电传感监测国际论坛显示了国内外地质和岩土工程光电传感监测领域研究工作的以下几个特点:(1)理论研究不断加强,出现了一系列新的基础性研究成果;(2)开发出越来越多的适用于地质和岩土工程监测的新型传感器,这些传感器在精度、稳定性、可靠性、可集成性等方面具备了独特的优势;(3)分布式传感技术在地质灾害与岩土工程安全监测方面的应用日益增多,已开发出一些针对具体工程的监测系统;(4)全分布式和准分布式光纤传感技术已逐渐渗透到水利水电、交通、消防、电力、国防等相关行业,技术标准、监测规范的制定进一步受到重视。未来的研究建议包括以下几个方面:(1)研发具有优越性能价格比的全分布式光纤传感解调技术;(2)特种地质和岩土工程光纤传感器及其现场安装工艺的研究;(3)海量分布式光纤感测数据的传输和处理技术;(4)基于分布式监测技术的地质灾害预警和岩土工程安全评估理论和方法研究。

关键词 分布式监测 光纤传感技术 研究现状 地质和岩土工程

中图分类号:P642 **文献标识码**:A

CURRENT PROGRESS AND TRENDS ON DISTRIBUTED OPTO-ELECTRONIC SENSOR-BASED MONITORING IN GEO-ENGINEERING——A SUMMARY OF 4TH OSMG-2012

ZHU Honghu SHI Bin

(School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract This is a summary report for the 4th International Forum on Opto-electronic Sensor-based Monitoring in Geo-engineering(4th OSMG-2012). This forum was sponsored by Nanjing University, organized by Nanjing University High-tech Institute at Suzhou, and supported by National Science Foundation of China(NSFC) and other organizations. The forum shows the following four features in the recent years: (1) Theoretical researches have been enhanced and a series of fundamental research output have emerged. (2) More and more innovative sensors tailored for geo-engineering monitoring have been developed recently, which show unique benefits regarding accuracy, stability, reliability and integration ability. (3) the applications of distributed sensing technologies in safety monitoring of geo-hazards and geotechnical structures have been advocated extensively. Some monitoring systems have been established for specific projects. (4) the fully-distributed and quasi-distributed fiber optic sensing technologies have

* 收稿日期: 2012-11-28; 收到修改稿日期: 2013-01-04.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2011CB710605), 国家科技支撑计划项目(2012BAK10B05).

第一作者简介: 朱鸿鹄, 主要从事地质工程、岩土工程研究. Email: zhh@nju.edu.cn

been introduced into the disciplines of hydraulic, transportation, fire protection, electric power, and national defense engineering. Standardization has been widely concerned. The future researches may focus on the following four aspects: (1) development of cost-effective demodulation techniques for fully-distributed fiber optic sensing technology; (2) development of special fiber optic sensors for geo-engineering and their field installation methods; (3) transmission and processing technologies of huge monitoring data from distributed fiber optic sensors; (4) early warning and stability assessment methods for geo-hazards and geotechnical structures based on distributed monitoring technologies.

Key words Distributed monitoring, Fiber optic sensor, State of the art, Geo-engineering

1 引言

2012年10月11~13日,由南京大学主办,南京大学(苏州)高新技术研究院承办的第四届地质(岩土)工程光电传感监测国际论坛(the 4th International Forum on Opto-electronic Sensor-based Monitoring in Geo-engineering, 4th OSMG-2012)系列会议在苏州西交利物浦国际会议中心举行。该系列会议是南京大学施斌教授于2005年在国家自然科学基金委的资助下发起建立的,均由南京大学主办,目前已召开了四届,均取得了圆满成功,在国内外产生了重要影响。该系列会议的参会人数一届比一届多,内容一届比一届丰富,是目前国际上该研究领域唯一的一个国际交流平台。

本届论坛共有150余位国内外学者参加,其中来自美国、德国、日本、韩国、加拿大、瑞士等国外著名学者有10余位,中国台湾和内地学者130余位。国家自然科学基金委地球科学部常务副主任柴育成先生,国际结构健康监测协会(ISHMII)主席、美国伊利诺伊大学芝加哥分校F Ansari教授,国际工程地质协会(IAEG)秘书长、中国科学院地质与地球物理研究所伍法权研究员和南京大学副校长潘毅教授,分别在大会开幕式上致辞。加拿大皇家科学院院士鲍晓毅教授、前国际环境岩土工程协会(ISEG)主席H I Inyang教授、国家自然科学基金委、苏州工业园区和南京大学的相关领导出席了本届会议。

本届会议共收到论文54篇,录用52篇,其中中国(境)外论文16篇,国(境)内论文36篇。论文内容涉及分布式光电传感解调技术、分布式光电传感数据采集与无线传输技术、分布式传感监测中的温度补偿与异常识别技术、岩土体大变形分布式监测技术、特种分布式传感光纤(缆)的研发、地质与岩土工程中分布式传感网的布设与安装工艺、基于分布式监测技术的工程安全监测与诊断系统、地质与岩

土工程中分布式监测集成技术、分布式传感监测技术工程应用实录、ROTDR温度监测的关键技术、FBG传感器现场布设和无线数据传输的解决方案等方面。

2 国外研究现状

本届会议共举行了35场报告,包括15场特邀报告和20场口头报告,参会代表们就本领域中最新研究成果、热点、难点课题进行了热烈的讨论。从国际著名专家的特邀报告内容可以发现,目前以光纤传感为代表的分布式监测技术已得到了学术界和工业界的广泛认可和关注。国际上主流的传感技术包括:基于自发布里渊散射和受激布里渊散射原理的全分布式光纤传感技术(如BOTDR/BOTDA)、基于拉曼背向散射原理的全分布式光纤传感技术(如ROTDR)、基于瑞利散射的全分布式光纤传感技术(如OFDA)以及基于布拉格光纤光栅的准分布式光纤传感技术(如FBG)等。近几年来,全分布式和准分布式光纤传感技术在基础研究、设备研发以及工程应用等各方面得到了蓬勃的发展,取得了一系列的重要研究成果和进展。

例如,加拿大皇家科学院院士、渥太华大学教授鲍晓毅研发了2类基于瑞利散射的分布式动态应变传感技术:时间分辨光频域反射(OFDR)和相位光时域反射(OTDR)。前者可以达到厘米级的空间分辨率,但动态监测的频率和长度都较小;后者虽然采用分米级的空间分辨率,但可以实现数百米传感光纤的高频应变监测。来自德国联邦材料测试研究院(BAM)的W Habel博士介绍了德国在光纤传感岩土工程监测方面的最新研究进展:他们成功地将基于布里渊散射技术的硅光纤和基于OTDR技术的聚合物光纤植入土工织物,该智能织物不仅可以对边坡进行加固,还可进行实时的监测预警;另一方面,他们将微型Fabry-Perot光纤传感器应用于桩基

完整性和承载性能的精确监测,以及室内岩石试验的变形监测。日本茨城大学的吴智深教授针对目前结构健康监测中的难点问题,提出了采用分布式长标距 FBG 传感器进行结构性能评估的方法。瑞士洛桑联邦理工学院的 L Thévenaz 教授研究并改进了基于布里渊散射的分布式光纤传感技术,实现了更高精度的空间分辨能力。韩国高丽大学的 W Lee 教授介绍了一种新型的 FBG 微型贯入仪,并将该传感器应用于土层分界的辨识。美国加州大学圣地亚哥分校的 MD Todd 教授详细阐述了用于管道准分布式变形检测的材料力学理论体系。美国伦斯勒理工学院的 TF Zimmie 教授采用无线 MEMS 传感序列,成功地应用于边坡稳定性的实时监测。日本岐阜大学的马贵臣博士介绍了一种岩体稳定评估的监测新技术:激光多普勒测振仪。美国伊利诺伊大学芝加哥分校的 F Ansari 教授采用分布式光纤传感技术,针对纽约布鲁克林大桥等重要基础设施进行了结构损伤监测和劣化评估。美国北卡罗莱纳大学夏洛特分校杜克能源特聘教授 HI Inyang 设计了一种用于污染场地伽马射线检测的新型网络系统。韩国标准科学研究院的 IB Kwon 研究员介绍了一种用于漏水检测的新型光纤传感探头。

以上研究成果基本上反映了国外近几年来在分布式和准分布式光纤传感技术的理论和应用方面的最新研究进展,主要有以下几个特点:

(1)在基础研究方面,除了为提高基于布里渊和拉曼光时域反射测量原理的 BOTDA 和 ROTDR 的测量空间分辨率、测量速度和测量精度等方面开展了大量的实验和应用基础研究外,出现了一些新的基础性研究成果,如基于布里渊和瑞利光频域分析原理的 BOFTR/A 和 OFDR 等,这些研究成果为开发新一代更高性能价格比的全分布监测技术提供了理论基础。

(2)基于全分布式和准分布式光纤传感技术,研发了一系列用于地质和岩土工程监测的新型传感器,如可以测量大变形的 POF 传感器,最大变形测量值达到 20%;可以测量二维和三维变形的土工格栅分布式光纤传感网等。与传统的监测仪器相比,这些传感器在精度、稳定性、可靠性、可集成性等方面具有独特的优势。

(3)全分布式和准分布式传感技术在地质灾害与岩土工程安全监测方面的应用日益增多,并开发出了如桩基分布式检测系统、隧道安全监测系统等。

(4)除了岩土、地质、土木等专业领域,全分布

式和准分布式光纤传感技术已应用于水利水电、交通、消防、电力、国防等行业,并且已经或正在制定了一系列准分布式和全分布式光纤传感技术监测规范,如制订了 IEC SC 86C, WG 2 的标准等。

3 国内研究现状

在地质与岩土工程光纤传感监测领域,我国(包括香港、台湾地区)的科研工作者一直是一股非常活跃的力量。本届会议上,国内参会代表围绕会议主题进行了深入的研讨。中国台湾国立交通大学黄安斌教授分析了 FBG 传感技术在岩土工程监测方面的优势,介绍了他们自主研发的用于倾角、孔隙水压力、位移测量的多种 FBG 光纤传感器,以及这些传感器在边坡稳定性监测中的应用;哈尔滨工业大学李惠教授对分布式监测技术在国内重大建筑结构健康监测的进展进行了综述;大连理工大学李宏男教授详细介绍了近年来开展的将 FBG 传感技术应用于大型土木和海洋工程结构监测的经验;哈尔滨工业大学董永康研究员研发了一种高空间分辨率的快速分布式布里渊光纤传感器动态测量技术;南京大学朱鸿鹄博士介绍了他们研发的 FBG 边坡实时监测系统,通过与香港 ARUP 公司和香港土力工程处的合作,将该系统安装于香港鹿径公路边坡,进行了长期的安全监测;中国科学院半导体研究所的张文涛博士介绍了一种用于钢轨损伤检测的光纤激光加速度计;南京大学王静博士基于 FBG 传感技术,研发了一种光纤光栅振动传感器;华中科技大学金文成教授分析了基于分布式光纤的桩基检测方法的有效性;南京大学张丹博士针对现有土体变形监测技术中的不足,提出了基于分布式传感的土体变形测量技术,并进行了室内模拟试验研究;水利部南京水文自动化研究所周柏兵分析了基于耦合分析的分布式光纤堤坝渗漏监测研究意义和发展;南京地质矿产研究所苏晶文详细论述了分布式光纤监测技术在地裂缝监测中的应用;江苏省交通规划设计院股份有限公司方海东分析了基于光纤传感进行船闸工程安全自动化监测的可行性。另外,还有十余位学者介绍了分布式和准分布式光电传感技术在各自领域内的应用现状和最新的研究成果。

从本届会议的报告以及相关文献来看,近年来我国在地质、岩土、土木以及其他相关领域中开展了大量的与光电传感有关的研究,并在应用的广度和

深度上都取得了可喜的进展,其中尤以 FBG、ROTDR、BOTDR、BOTDA 等分布式光纤传感技术发展和应用最快,这充分说明了分布式光电传感技术在地质与岩土工程监测中的应用具有旺盛的需求,应用前景广阔。

4 发展趋势和相关的课题

自温家宝总理提出“感知中国”以来,物联网(或称之为传感网)已被正式列为国家五大新兴战略性新兴产业之一,物联网概念在中国受到了全社会极大的关注。从技术层面看,物联网可以解析为“感”、“传”、“知”、“控”4个紧密联系的功能区块。由于分布式光纤传感技术集“感”、“传”功能于一体,并具有分布式、长距离、耐腐蚀、抗干扰等特点,因此它是一种十分理想的构建地质和岩土工程以及相关专业领域中物联监测网络的技术手段。

我国在 FBG 准分布光纤传感监测技术研发和应用方面,已有了较长的历史,并取得了一批突出的成果,如武汉理工大学、北京工业大学、中国计量学院、昆明理工大学等在 FBG 刻写技术、解调技术、封装技术、信号处理方法、无线传输和集成技术等方面均有一些创新性的成果。在全分布光纤监测技术方面,自 2000 年南京大学在 985 工程的支持下,施斌教授领导的课题组在国内开展了基于布里渊散射测量技术(BOTDR)的地质与岩土工程全分布式监测研究工作,并取得了一批开拓性的研究成果,这些成果目前已在 60 多个国家和地方重大工程项目中得到了应用,取得了良好的社会和经济效益。四川大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、西安理工大学、中国地质大学(武汉)等国内高校以及中国科学院、中国地调局、水利部下属的科研院所等也相继开展了全分布式光纤监测技术及其在地质和岩土工程监测中的应用研究。进入 21 世纪,在一系列国家“973”计划、国家科技支撑计划、国家自然科学基金的支持下,全分布式和准分布式光纤传感技术的研究和开发进入了快速发展阶段,并在我国地质、土木、城建、电力、交通和水利等一些重大工程项目中得到了应用,取得了显著的社会和经济效益。近年来,一些产学研平台相继建立,如南京大学(苏州)分布式光纤传感技术工程中心产学研平台、武汉理工大学-理工光科产学研平台等,进一步促进了该类技术的推

广和应用。

随着分布式光纤传感技术的不断创新,地质与岩土工程分布式监测的水平一定会得到不断提高,应用面不断会得到扩大,但是我们也清楚地看到,与国际上一些先进国家相比,我国在分布式光电传感监测技术及其在地质与岩土工程监测技术及应用方面还有一定的距离,主要表现在:(1)一些全分布光纤传感解调技术还依赖于国外,如 BOTDR/A, BOFDR/A 等;(2)一些岩土体大变形监测的特种分布式传感器还有待进一步研发;(3)相关的分布式光纤监测标准与规范有待制订。因此,今后的研究课题应包括以下几个方面:

(1)研发具有优越性能价格比的全分布式光纤传感解调技术,如 OFDR, BOFDR/A, BOTDR/A 等;

(2)适合于地质和岩土工程分布式监测的特种光纤传感器的研发,如 POF 等;

(3)适合于地质环境恶劣的分布式光纤传感器安装技术研究,特别是衔接和出口处的安装和保护;

(4)分布式光纤感测数据的处理和异常识别研究;

(5)分布式光纤监测数据的传输技术,特别是海量无线传输技术的开发;

(6)基于分布式监测技术的地质灾害预警和岩土工程安全评估理论和方法研究;

(7)分布式传感器研发率定标准,以及地质和岩土工程分布式监测指南与规范制订。

5 结 语

第 4 届地质(岩土)工程光电传感监测国际论坛(4th OSMG-2012)圆满结束了,经过 3d 时间的技术培训、热烈研讨、深入交流和成果展示,达到了本届会议的预期目标。作为目前地质和岩土工程领域中唯一的光电传感监测系列论坛,我们一定尽最大的努力,把这一论坛继续办好,为促进分布式光纤传感监测技术的发展,提高我国地质和岩土工程领域的监测水平,做出我们的贡献,并期待着下届会议再次相聚。

致 谢 本系列论坛一直得到了国家自然科学基金委员会的大力支持,在此表示衷心的感谢!

International Symposium & 9th Asian Regional Conference of IAEG

Bulletin No. 1 (First Announcement)

Theme: Global View of Engineering Geology and the Environment

Date: September 24–25, 2013, Beijing

Topics

1. Crustal Stability and Dynamical Geo-hazards

- Crust Stability and Engineering Geology in Asia
- Mechanism and Risk Reduction of Geo-hazards

2. Engineering Geology in Major Construction Projects

- Ground Engineering Projects
- Mining and Deep Ground Engineering
- Construction Materials for Major Engineering Projects

3. Urbanization and Geological Environment

- Dynamical Process and Geo-hazards in Delta and Coast
- Geological and Environmental Problems in Urban Development

4. New Ideology and Technology in Engineering Geology

- New Techniques and Equipments
- New Ideology on Development of Engineering Geology
- Education and Training of Engineering Geology

5. Workshop C29: Structure & behavior of Soil & Rock Mass

6. Workshop: Geo-hazards in Karst and Loess Areas

Call for Papers

The abstract/full paper templates and instructions can be downloaded from the conference website. The abstracts should be at least 300 words.

- Click the link to submit abstract/full paper online:
<https://www.easychair.org/account/signin.cgi?conf=areg2013>
- If you have any question, please email:
qishengwen@mail.igcas.ac.cn

The conference proceedings will be published by Springer.

The poster exhibition will be arranged as well.

Important Dates

Abstract due: January 15, 2013

Acceptance of abstract: February 15, 2013

Full paper due: March 15, 2013

Early birds registration due: July 31, 2013

Organization

Sponsored by:

International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG)

Organized by:

IAEG China National Group

IAEG Committee 29

Key Lab of Engineering Geo-mechanics, IGGCAS

Supported by:

Chinese Academy of Sciences

National Natural Science Foundation of China

Chinese Geological Survey

Yunnan Ass. for Promot. of West China R&D.

HydroChina Corporation

Xi'an Center of Geological Survey, CGS China

Chengdu University of Technology

China University of Geosciences (Wuhan)

China University of Mining and Technology (Xuzhou)

Chang'an University

Three Gorges University

Southwest Jiaotong University

China JK Institute of Eng. Investigation and Design

Institute of Geomechanics, CAGS

China Railway First Survey and Design Inst. Group Ltd.

Guangdong Hydropower Planning & Design Institute

CIGIS (China) Ltd.

China Ordnance Industry Survey & Geotech. Institute

China North Industries Group Co.

Contact Information

Dr. Yuhuan Song: Tel/fax: 86-10-82998121

Email: engineer2003@mail.igcas.ac.cn

Dr. Shengwen Qi: Tel: 86-10-82998055

Email: qishengwen@mail.igcas.ac.cn

Dr. Lihui Li: Tel: 86-10-82998626

Email: lhli2942@mail.iggcas.ac.cn

Conference Website:

<http://www.iaegasia2013.com>, to be open in Sept. 1st, 2012

Postal address:

Institute of Geology and Geophysics,

Chinese Academy of Sciences,

Beituchengxilu 19

Beijing 100029, China