

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2013.06.025

# 光纤光栅传感技术在轨道交通车辆的应用

刘争平

(中铁第一勘察设计院集团有限公司 西安 710043)

**摘 要** 光纤光栅作为一种特种光纤,其敏感变化参量为光的波长;利用布喇格 Bragg 光栅波长对温度、应变等物理量的敏感特性,制成光栅传感器。在介绍国内外光纤光栅传感器生产厂商概况和光纤光栅传感技术基本原理的基础上,论述光纤光栅传感器的技术优势。列举分析光纤光栅传感技术在轨道交通车辆的若干应用实例,展望光纤光栅传感系统在轨道交通车辆上的应用前景。实践表明,随着光纤光栅传感技术的不断发展,传统的电测试系统逐渐被光纤光栅测试系统所取代。

**关键词** 城市轨道交通;车辆;光纤光栅;传感器

**中图分类号** U270.7      **文献标志码** A

**文章编号** 1672-6073(2013)06-0103-04

近年来,国内外不少公司和专家对轨道交通车辆安全技术的研究趋向于车辆故障之前的预防和报警,其中光纤布喇格光栅(fiber bragg grating ,FBG)传感技术因其独特的优势在众多领域内得到广泛应用,并取得快速发展。FBG 技术始于国外,在欧洲和北美已相当成熟;也有军工转向民用的,而大量的应用是在基础设施的健康安全监测上,如桥梁、土木工程结构、重要意义的建筑物等。尽管 FBG 传感技术目前在轨道交通车辆(地铁、轻轨、中低速磁浮列车)、飞机、铁路客车等移动设施动态监测项目的应用不及基础设施健康安全监测项目广泛,但它从列车运行安全角度来看是十分急需和必要的,而且具有相当大的市场需求前景。

## 1 国内外概况

国外具有代表性的拥有光纤光栅 FBG 传感技术的

收稿日期: 2013-05-29    修回日期: 2013-07-04

作者简介: 刘争平,男,工程硕士,处长,高级工程师,专业方向为车辆工程,liucs292@163.com

公司有 3 家:美国微米光学 MICRON OPTICS (简称 MOI)公司、比利时福斯 FOS&S 光纤传感系统公司、法国奥斯莫斯 OSMOS 光纤传感技术公司,见表 1。

表 1 国外光纤光栅传感技术代表性厂商

公司名称	国家	公司介绍	备注
MICRON OPTICS (简称 MOI)	美国	MOI 是一家在可调光学技术领域具有领先地位的美国公司,尤其是它的光纤光栅解调器产品处于霸主地位,公司可提供全面的服务于传感、生物和电信市场的器件及仪器解决方案	MOI 公司主要提供原装产品,但价格较贵
FOS&S	比利时	公司成立于 2001 年,是在光纤光栅传感技术方面领先的系统集成商和设备供货商,有丰富的工程经验和成熟的产品,如温度、拉力、压力、土压、载荷、振动、位移和变形等各种性能的传感器	研发中心在比利时,工厂在德国,与德国 IPHT JENA 光电研究所合作生产
OSMOS	法国	公司是一家世界领先的光纤技术解决方案的提供商,特别是在工程项目结构的整体性监测领域	公司总部位于巴黎,光纤传感业务部分设在加拿大

国内光纤光栅传感技术的研发相对落后于国外。国内 FBG 传感器厂商对其研究多数停留在实验室范围,需要的传感器件多数委外。近几年来,研究和制作传感专用的布喇格光栅有了重大突破。以武汉理工大学光纤传感技术研究中心所拥有的全国唯一的光纤传感技术重点工业性试验基地为例,它在国内率先建立了批量生产光纤光栅传感器的流水线,开发了七大类,包括电流、电压、振动、应力、位移、温度等在内的 30 余种光纤光栅传感器,年产量 6 万余只。FBG 传感技术、FBG 传感系统和传感器件已成功地应用于武汉地铁、

武汉天兴洲公铁两用长江大桥、京广铁路纸坊车站等工程项目。

## 2 光纤光栅传感技术优势

### 2.1 基本原理

FBG 传感器的基本原理是:当光栅周围的温度、应变、位移、加速度、倾角等待测物理量发生变化时,将导致光栅周期或纤芯折射率的变化,从而产生布喇格光栅信号的波长位移;通过监测布喇格波长位移变化,即可获得待测物理量的变化<sup>[1]</sup>,见图 1。

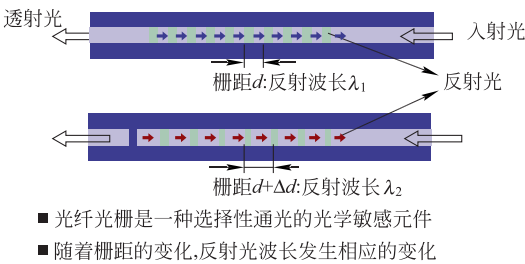


图 1 光纤光栅传感器的基本原理

光纤光栅传感系统的基本原理是:采用波分复用技术,在一根光纤中串联多个甚至数百个布喇格光栅,进行大容量、实时和远程的分布测量,见图 2。

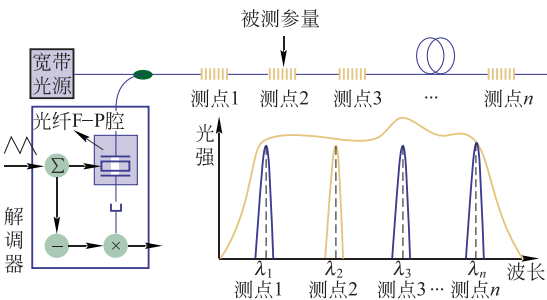


图 2 光纤光栅传感系统的基本原理

以光纤光栅计轴传感器进行轮轴健康状态监测为例:当运行列车车轮通过设在轨旁传感器的钢轨时,所产生的应变会引起光栅波长改变,经解调后得到动态应变曲线,统计其应变脉冲峰,即为对应的轮轴数。正常轮轴在通过钢轨上的光纤计轴传感器时,其应变曲线光滑、无毛刺;而安装松动的轮轴在压迫钢轨上产生的应变曲线会不圆滑,可以辨认出松动所产生的高频振动毛刺。对于扁疤、失圆等缺陷车轮,其钢轨应变曲线会有双峰,这对检测车轮缺陷有很大的意义<sup>[2]</sup>。光纤计轴传感器检测轮轴的缺陷见图 3。

### 2.2 系统构成

光纤光栅传感系统是由传感用的光纤光栅、传感

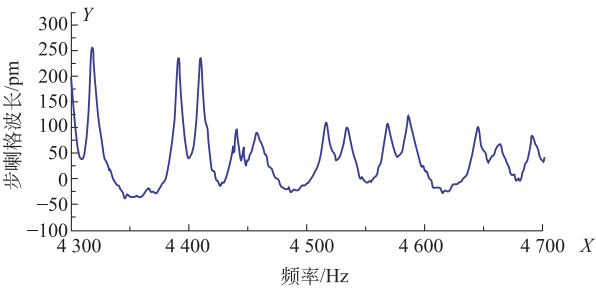


图 3 光纤计轴传感器检测轮轴的缺陷

专用器材、光纤光栅传感信号解调装置、工控计算机、测控软件、数据库等组成,并与安全分析评估系统联网。针对不同监测对象而开发测控软件是系统的关键,因为不同监测仪器有不同的解算方法,相同监测仪器的运行模式不同,算法也不同。作为用于轨道交通车辆的光纤光栅传感实时监控系,要求采集频率高、数据库容量大、重复稳定性能好,其系统构成见图 4。

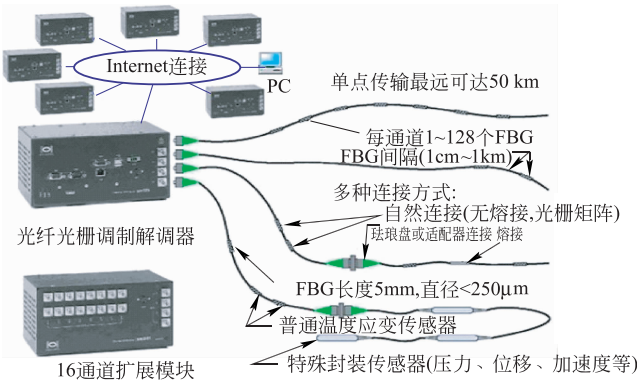


图 4 光纤光栅传感系统构成

### 2.3 传感器件

光纤光栅是一种特种光纤,它的敏感变化参量为光的波长,利用 Bragg 光栅波长对温度、应变等物理量的敏感特性制成光栅传感器。FBG 传感器就是一种刻写于 250 μm 直径光学纤维中、10 μm 芯径里的一维光栅,轨道交通车辆常用的主要有温度、应变、加速度、倾斜力、载荷、振动、位移等光纤光栅传感器。光纤光栅传感信号解调装置性能以美国 MOI 公司的产品为例,所提供的 60 nm 超大带宽光栅解调仪的扫描频率达 2 kHz,测量精度达 1 με (微应变),具有超稳定的光性能<sup>[3]</sup>。

### 2.4 技术优势

近几十年以来,电传感器一直作为测量物理与机械现象的标准器件发挥着它的作用。作为测试设备无

处不在,但它有着先天的缺陷,如信号传输过程中的损耗、容易受电磁辐射干扰、不能适应恶劣环境和气候条件等,而 FBG 传感器就是针对电传感器的缺陷而开发的一种新一代光纤传感器,有着很好的技术优势。

1) 由于传感信号为波长调制,因而测量信号不受光源起伏、光纤弯曲损耗、连接损耗和探测器老化等因素的影响,具有测量精度高、扫描速度快等特点。例如,FBG 应变传感器信号解调装置的测量精度可达  $1\ \mu\epsilon$  (微应变),扫描频率达 2 kHz。

2) 采用波分复用技术,在一根光纤中串联多个甚至数百个布喇格光栅进行大容量、实时和远程分布测量。与单个电传感器相比,极大地减小了整个测试系统的体积、质量以及复杂度<sup>[4]</sup>,而且传感距离可远达 50 km 之外。

3) 光纤光栅传感器除了可贴在现有结构的表面外,还能很容易地埋入材料(如复合材料、混凝土等)中,对其内部的应变、温度进行高分辨率和大范围的实时测量,监测结构缺陷的形成与生长<sup>[5]</sup>。

4) 作为无源器材,使用寿命长达 20 年。因光栅探头体积尺寸小(直径小于 250  $\mu\text{m}$ ),柔软纤细,特别适合狭小、复杂结构空间的测量。

5) 光纤光栅具有传感、无电传输的特点,抗电磁辐射、抗腐蚀能力强,能适应恶劣环境和气候条件。

### 3 光纤光栅传感技术在轨道交通车辆上应用

下面列举光纤光栅传感技术在轨道交通车辆上的应用实例。

1) 早在 2007 年,武汉理工大学光纤传感技术研究中心将光纤光栅传感技术应用于武汉轻轨 1 号线,动态检测车轮不圆顺,检测因车轮质量引起的钢轨应力改变,经数据处理后得到列车通过的轮轴数和轮轴状态。

2) 香港理工大学与香港九广铁路公司合作,采用美国 MOI 公司的光纤光栅传感产品,重点监测路轨振动、车厢倾斜状态、转向架结构组件(牵引电机、轴承等)的温度变化,光纤光栅传感系统已被成功地安装应用在香港东铁线、西铁线、机场快线和轻轨线<sup>[6]</sup>。

3) 法国阿尔斯通公司在开发新型材料的同时,将光纤光栅传感器埋入现代有轨电车和高速列车的转向架结构件中,用以监测新型复合材料的性能,取得了良好效果。

4) 北京交通大学等单位基于光纤光栅传感技术,对中低速磁浮列车定位进行了研究。由于磁悬浮列车运行时列车悬浮在轨道上,车体与轨道分离,造成列

车无法与布置在地面的光纤光栅传感器接触,也就无法感知传感器所受到的列车作用力。研究提出,将光纤光栅压力传感器布置在轨道梁接头的缝隙处,通过轨道的传递,使传感器来感知列车经过时产生的压力<sup>[7]</sup>。

5) 轨道交通火灾的可能发生地点很多,集中在车辆、站台、设备区、地下隧道、高架及路面轨道等处。由于轨道交通环境的复杂性,对火灾探测的传感器要求较为苛刻。传统的火灾探测器(如电子类),难于充分发挥作用和胜任使用,在轨道车辆运用中会对电子类传感器造成电磁干扰,使其不能正常工作;而高精度、高分辨率、抗电磁干扰的分布式光纤温度传感器,就非常适合在恶劣、潮湿的环境中使用<sup>[8]</sup>。

### 4 结语

综上所述,光纤光栅传感技术的应用面广泛,用于轨道车辆的技术成熟,发展前景宽广,FBG 传感系统已成为轨道交通车辆领域的研究热点和应用推广项目<sup>[9-10]</sup>。

1) 当今新型轨道交通工具不断涌现,而国产化光纤光栅传感器件有生产价格优势,这必将带来广阔的市场前景。

2) 成百个光纤光栅传感器安设在轨道交通车辆的各个部位上,以采集关键部位的状态参数,为列车运行安全提供了可靠的保障。

3) 光纤光栅传感技术特别适合应用在恶劣环境和气候条件下,可对轨道交通车辆进行长期动态监测。

4) 随着光纤光栅传感技术的不断发展,传统的电测试系统将逐渐被光纤光栅测试系统所取代。

### 参考文献

- [1] 张强,赵信洋,刘学毅,等. 光纤光栅传感器在桥上无缝道岔模型试验中的应用[J]. 铁道建筑,2010(12):94-96.
- [2] 武汉理工大学. 双光路双区光纤异物入侵监测系统[R]. 武汉,2009.
- [3] 美国 MOI 光学公司. 光纤光栅传感器及安装[M]. 北京,2007.
- [4] A new way to monitor using fibreoptics[EB/OL]. (2008-03-28). [2013-05-05] <http://www.emeraldinsight.com/0260-2288.htm>.
- [5] 张岩,康熊. 光纤光栅传感器在铁路领域的研究与应用[J]. 铁道机车车辆,2008,28(4):45-49.
- [6] 美国 MOI 光学公司,香港九广铁路公司. 香港城市轨道交通列车动态健康监测系统[G]. 香港,2007.
- [7] 刘云,简水生,裴丽,等. 基于光纤光栅传感的新型磁悬浮



- 列车定位方法的研究[J].铁道学报,2005,27(5):72-76.
- [8] 宋立新,韩红远.分布式光纤测温在地铁火灾预警系统中的应用[J].都市轨道交通,2012,23(6).
- [9] Monitoring engineering, osmos technology [EB/OL]. [2011 - 01 - 18] (2013 - 05 - 05). <http://www.Osmos-Canad.com>.

- [10] Application of FBG giber optic sensing technology in rail traffic industry [EB/OL]. [2009 - 12 - 09] (2013 - 05 - 05). <http://www.fos-s.com>.

(编辑:郭洁)

## Fiber Bragg Grating (FBG) Sensing Technology Applied to Rail Transit Vehicles

Liu Zhengping

(China Railway Yiyuan Survey and  
Design Group Co., Ltd., Xi'an 710043)

**Abstract:** This paper elaborates advantages of FBG sensing technological on the basis of introducing FBG sensor manufacturers from home and abroad and the basic principles of FBG sensing technology. FBG is a kind of particular fiber optics, whose changeable parameter of sensitivity is equal to optical wave length. FBG sensors are made up of the sensitive property of their wavelength to physical parameters, such as temperature, strain etc. Several practical examples are given about the application of FBG sensing technology to rail transit vehicles. The prospect of adopting FBG sensing system for rail transit vehicles is highlighted. With the continuous development of FBG sensing technology, the traditional electrical testing methods will be replaced by it gradually.

**Key words:** urban rail transit; vehicles; fiber grating; sensor

### 北京地铁推出官方微信及客户端

11月1日,北京地铁公司推出官方微信、APP客户端,并启用全新改版的官方网站和服务热线系统,月内将实现微信公共平台推送列车延误信息。

新上线的北京地铁官方微信及官方APP客户端,将把地铁首末班车时间、地铁换乘信息、乘车须知等乘客较为关注的信息进行整合。11月内将实现向关注北京地铁微信的用户推送突发事件引发的列车延误信息,时间上将与微博同步。

北京地铁官方网站在原有首末班车时间、无障碍设施查询功能的基础上,增加了更多的便捷查询和服务信息,包括线路换乘查询、站内服务设施查询、一卡通服务网点查询等;还将推出“坐地铁游北京”栏目,分享地铁周边景点、美食、医院等各种信息;设立“运营信息滚动栏”和“列车延误告知”模块。如果列车运行间隔超过计划间隔2倍或列车延误时间达到10 min时即启动应急预案,并对外发布信息。除了官方网站,北京地铁服务热线此次也完成了软硬件升级。

摘编自 <http://tech.gmw.cn> 2013-11-02

### 上海地铁官方电子指南全面升级

10月8日,上海地铁官方电子指南(APP)全面升级至3.0。新版APP将轨道交通全网的实时运营动态搬到手机上,全面更新优化功能及版面设计,新增帮我找最近的站点、最近的地铁无障碍电梯、厕所、ATM机等站内服务便民设施,提供运营及车站周边相关的服务增值信息,进一步方便了乘客。

摘编自 [www. http://umt.tongji.edu.cn](http://umt.tongji.edu.cn) 2013-11-03

### 香港地铁正式启用智能车票

10月20日,香港地铁正式启用全新单程智能车票。新的单程智能车票使用次数是磁条车票的4倍,乘客在入闸时只需将车票放在读卡器上“拍一拍”,出闸时将车票插入闸机,智能车票就可以交回地铁公司再循环使用。据

悉,本次更换计划总耗资2亿港元。港铁表示,该计划符合成本效益,不会因更换智能车票而加价。

摘编自 [www. http://umt.tongji.edu.cn](http://umt.tongji.edu.cn) 2013-10-22

### 郑州地铁全球首家使用4G技术

据悉,郑州地铁全球首家使用了4G无线通信技术,在调度中心就可以看到地铁车厢内的情况,还可以向车厢传输视频,以后乘客坐地铁也能看直播的电视节目。郑州地铁使用的4G技术基于eLTE技术的车地通信平台,可在有限的频率资源下提供大带宽的上行业务通道,满足车载高清视频监控数据通过无线实时回传的需求。这是全球首次将移动通信宽带技术应用于轨道交通行业,将于下月地铁试运营后正式启用。

摘编自 <http://www.camet.org.cn> 2013-12-02

### 沈阳实现刷手机乘地铁

9月3日,坐落于浑南新区沈阳国际软件园的沈阳市两化融合展示中心正式面向社会开放。在展示中心内,可以看到沈阳市信息化和工业化融合的诸多成果。手机划卡支付功能已经应用于沈阳市的城市公交,一期投入6万张卡片,实现了刷手机乘地铁。

摘编自 [www.chinametro.net](http://www.chinametro.net) 2013-09-03

### 成都地铁站自动售货机有望使用手机支付

9月4日,支付宝正式宣布,与国内十一大售货机运营商达成全面合作关系,将统一使用支付宝的“当面付”功能来实现交易电子化,用户可以使用手机里的支付宝客户端在自动售货机内直接购买商品,不需要使用现金。据悉,今年年底就可以在成都地铁站自动售货机上使用这项功能。

摘编自 [www.chinametro.net](http://www.chinametro.net) 2013-09-05