

科学技术进步奖推荐号：2024-106-4002

项目名称	基于光纤传感的测量关键技术研究及工程应用
提名单位	承德市科学技术局
项目简介	<p>相比于其它传感技术，光纤传感具有灵敏度高，抗电磁干扰、本质安全，测量速度快，信息容量大，适用于恶劣环境及重量轻、体积小、可弯曲、成本低等特点。近十年来河北石油职业技术大学（原河北石油职业技术大学）联合天津大学、东北大学、天津精仪精测科技有限公司等，围绕光纤传感器、光纤解调系统、光纤传感在管道安全预警与泄漏定位中的应用等核心关键技术领域积极开展研究，取得如下创新成果：</p> <p>(1) 面向管道在输运易燃易爆产品过程中本质安全的需求，瞄准运输过程中的计量安全，首次提出一种集温度、压力和流量多参数同时测量的新型光纤传感器。设计出一种靶式与悬臂梁结构相结合的机敏结构将流量大小转换为机敏结构的应变，从而引起光纤光栅中心反射波长移动；通过设计特殊结构形式的薄壁压力应变筒，耦合作用于光纤光栅，实现压力测量。开发的一体化传感器探头形式，使得温度、压力、流量三个参数得以同时检测。同时，巧妙的结构设计使温度与流量、压力交叉敏感问题得以解决。该传感器的温度灵敏度系数为：$K_T=48.3\text{pm}/^\circ\text{C}$，压力灵敏系数为：$0.109\text{nm}/\text{MPa}$，流量最高灵敏系数为：$0.0804\text{nm h}/\text{m}^3$。</p> <p>(2) 面向传统动态轨道衡压力传感器安装过程中需要破坏钢轨机械性能且受电磁干扰严重等突出问题，首次提出将光纤光栅压力传感器引入动态轨道称重，创新性的将开放式柔性铰链-杠杆结构与金属化光纤光栅相结合，研发出一种用于动态轨道称重光纤光栅压力传感器。将金属化光纤光栅焊接在柔性铰链支架上；利用高响应频率光纤光栅解调仪，在高速情况下稳定读取实验数据；利用光纤光栅压力传感器，根本解决测试系统的电磁干扰难题；应用柔性铰链结构，充分发挥其很好的放大功能，传感器灵敏度高，其压力灵敏度达到 $60.8\text{ pm}/\text{t}$。</p> <p>(3) 面向传统解调仪系统成本高、技术复杂等因素，首次提出以 8 通道 50GHz 密集型波分复用器(DWDM) 作为光纤光栅压力传感器中的解调工具，并以高斯多项式拟合法作为光纤光栅波长寻峰算法，最终获得光纤光栅反射光谱的中心波长的准确位置，从而推出一种新型光纤解调器，实现低成本、全光纤的波长解调。系统压</p>

力与波长的线性拟合度为 0.9965，波长分辨率可达 0.3pm，最大引用误差为 2.6%，压力测量精度为 0.16MPa。

(4) 面向城市输水管道安全预警和泄露定位问题，提出借助Φ-OTDR 分布式光纤测试系统对供水管道预警与泄漏定位过程中所获得的各种振动信号进行全面分析。利用时域信号、信号功率谱、信息熵、空频能量分布、高通滤波等不同信号处理方法，对输水管道进行安全预警与泄漏定位研究，提出利用空频能量分布（SFED）进行输水管道安全预警与泄漏定位是最有效且可靠的方法。实验表明，在 2km 的测量范围内定位误差小于 10 米。

项目依托国家、省、市科研计划 5 项，授权国家发明专利 7 件，制定标准 2 项，取得软件著作权 3 件，发表高水平学术论文 23 篇，拥有自主知识产权，成果已被天津精仪精测科技有限公司、承德龙志达智能仪器仪表科技有限公司、浙江中控科教仪器设备有限公司等企业应用至国内多个供水工程，为相关企业创造经济效益 8000 余万元。

代表性知识产权和标准贵方目录

1. 发明专利：贾志宁、杨洋、王国永、等。一种具有高泄漏监测精度的城市输水管道，ZL 2016 1 0999426. 1，2018-11-27。
2. 发明专利：杨洋、刘冰。基于阵列式波分复用器技术实现波长解调的光纤压力传感器，ZL 2015 1 0334598. 2，2017-07-04。
3. 发明专利：吕日清、顾亚飞、杨洋、等。一种改进型光纤涡轮流量计，ZL 2016 1 0271414. 7，2019-06-25。
4. 发明专利：杨洋、贾志宁、沙洲、杨洋、等。一种感知管道泄漏位置和参数的智能管材，ZL 2020 1 0476374. 6，2022-02-01。
5. 发明专利：杨洋、刘兵、杨洋。一种小型宽带光源以及小型宽带光源的设计方法，ZL 2020 1 1493682. 6，2022-02-05。
6. 发明专利：封皓、王鸣、沙洲。一种基于特征提取模型的光纤预警方法及装置，ZL 2022 1 0394669. 8，2023-11-17。
7. 发明专利：赵勇、李桂林、吕日清。一种具有低温漂可填充的光纤 FP 传感器及其制备方法，ZL 2019 1 0688871. X，2021-07-09。
8. 团体标准：赵艳领、王成城、杨洋、等。智能检测装备通用技术要求，T/CAMS 180-2023，2023-11-16。
9. 团体标准：赵艳领、王麟琨、杨洋、等。边缘智能仪表体系架构及通用要求，T/CAMS 115-2022，2022-10-20。
10. 软件著作权：杨洋。输水管道泄漏巡检智能预警定位系统 V1.0，2019SR0769349，2019-07-24。

代表性论文（专著）

- 1、杨洋、杨洋、贾志宁、等。动态轨道称重光纤布拉格光栅压力传感器的设计，**激光与光电子学进展**，2022，59(03): /301-308。(核心)
- 2、杨洋、沙洲、封皓、贾志宁、杨洋、等。输水管道预警与泄漏定位中 Φ -OTDR 技术信号处理法，**激光与光电子学进展**，2018，55(04): 98-106。(核心)
- 3、杨洋、吕日清、杨洋、等。多参量一体化光纤传感器及标校系统的研制与开发，**红外与激光工程**，2019，48(10): 185-191。(EI)
- 4、ZHOUSHA、HAOFENG、ZHOU M ZENG, Phase demodulation method in phasesensitive OTDR without coherent detection, **Optics Express**, 2017, 25(05): 4831-44。(SCI, IF: 3.8)
- 5、Qiang Zhao、Ri-qing Lv、Yang Yang, etc. Novel integrated optical fiber sensor for temperature, pressure and flow measurement, **Sensors and Actuators A: Physical**, 2018, 280: 68-75。(SCI, IF: 4.1)
- 6、杨洋，刘兵，杨洋、等。DWDM 技术在新型波长解调方法中的应用，**红外与激光工程**，2016，45(8): 0822007-1-7。(EI)
- 7、Ri-qing Lv, Hong-kun Zheng, Yong Zhao, etc. An optical Fiber Sensor for Simultaneous Measurement of Flow Rate and Temperature in the Pipeline, **Optical Fiber Technology**, 2018, 45: 313-318。(SCI, IF: 2.6)

主要完成人情况表（排名、姓名、技术职称、工作单位、对本项目技术创造性贡献、曾获奖励情况）

排名	姓名	技术职称	工作单位	完成单位	贡献	曾获奖励情况
1	贾志宁	教授	河北石油职业技术大学	河北石油职业技术大学	本项目总体负责人，承担项目总体规划和设计工作，全面参与项目各部分内容的研发过程。提出利用相位敏感光时域反射计(Φ -OTDR)分布式光纤测试系统对城市输水管道安全预警与泄漏定位方法，并提出光纤对振动增敏的方法；提出利用柔性铰链-杠杆结构与金属化光纤光	

					栅相结合的方法用于轨道衡动态称重；完成多参量同时测量的光纤传感器验证平台；全面推动产品研制、技术成果转化、市场推广，实现产品和技术的落地应用。代表性知识产权 1、4 为专利权人；代表性论文 1、2 为主要作者。提交的代表性科研项目 2、4 为主要完成人。	
2	杨洋	教授	河北石油 职业技术 大学	河北石油 职业技术 大学	团队技术骨干，参与分布式光纤供水管道泄漏监测、埋地管道入侵预警相关内容的研究，参与研制了早期的供水管道光纤监测系统样机；提出利用 DWDM 作为基本解调工具，并以高斯多项式拟合法作为光纤光栅波长寻峰算法实现波长解调；提出动态轨道称重光纤光栅压力传感器的结构、材料和工艺。在第 2、第 3 创新点中做出重要贡献。	河北省科技进步三等奖； 2006 天津市科技进步二等奖； 2013
3	杨洋	副教授	河北石油 职业技术 大学	河北石油 职业技术 大学	提出利用相位敏感光时域反射计(Φ -OTDR)分布式光纤测试系统对城市输水管道安全预警与泄漏定位方法，并领导开展现场测试及数据分析工作；提出采用开放式柔性铰链-杠杆结构与金属化光纤光栅相结合的方法用于轨道衡动态称重的有效方法；参与多参量同时测量的光纤传感器标校装置的搭建及实验测试工作。在第 1、第 3 创新点中做出重要贡献。	
4	沙洲	副教授	天津大学	天津大学	团队技术骨干，参与分布式光纤供水管道泄漏监测、埋地管道入侵预警相关内容的研究，开展了基于泄漏扰动量实时空频分析及扰动信号的小波信息熵分析，是早期的供水管道光纤监测系统样机的主要研制者。在推动科	天津市科技进步二等奖； 2023

					技成果转化、技术推广应用方面发挥重要作用。在第 4 创新点中做出重要贡献。	
5	吕日清	副教授	东北大学	东北大学	团队技术骨干，提出有关多参量一体化光纤光栅传感器的结构特征和主要技术指标，并针对传感器的材料、制造工艺开展的深入研究，同时针对温度、压力、流量三个测量量交叉敏感问题提出有效解决方法，并为此开展了深入的实验研究；提出新型光纤涡轮流量计的理论依据和结构特征。是第 1 创新点中主要贡献者。	河北省自然科学二等奖； 2020 辽宁省科技进步二等奖 2 项；2015、2018

完成人合作关系说明

本项目由河北石油职业技术大学贾志宁课题组与天津大学沙洲团队、东北大学吕日清团队共同完成。贾志宁为本项目总体负责人，承担项目总体规划和设计工作，全面参与项目各部分内容的研发过程。代表性知识产权 1、4 为专利权人；代表性论文 1、2 为主要作者。提交的代表性科研项目 2、4 为主要完成人。杨洋作为团队技术骨干，参与分布式光纤供水管道泄漏监测、埋地管道入侵预警相关内容的研究，参与研制了早期的供水管道光纤监测系统样机；提出利用 DWDM 作为基本解调工具，并以高斯多项式拟合法作为光纤光栅波长寻峰算法实现波长解调；提出动态轨道称重光纤光栅压力传感器的结构、材料和工艺。在第 2、第 3 创新点中做出重要贡献。提出利用相位敏感光时域反射计(Φ -OTDR)分布式光纤测试系统对城市输水管道安全预警与泄漏定位方法，并领导开展现场测试及数据分析工作；提出采用开放式柔性铰链-杠杆结构与金属化光纤光栅相结合的方法用于轨道衡动态称重的有效方法；参与多参量同时测量的光纤传感器标校装置的搭建及实验测试工作。在第 1、第 3 创新点中做出重要贡献。团队技术骨干，参与分布式光纤供水管道泄漏监测、埋地管道入侵预警相关内容的研究，开展了基于泄漏扰动量实时空频分析及扰动信号的小波信息熵分析，是早期的供水管道光纤监测系统样机的主要研制者。在推动科技成果转化、技术推广应用方面发挥重要作用。在第 4 创新点中做出重要贡献。团队技术骨干，提出有关多参量一体化光纤光栅传感器的结构特征和主要技术指标，并针对传感器的材料、制造工艺开展的深入研究，同时针对温度、压力、流量三个测量量交叉敏感问题提出有效解决方法，并为此开展了深入的实验研究；提出新型光纤涡轮流量计的理论依据和结构

特征。是第 1 创新点中主要贡献者。

本人承诺对上述内容的真实性负责。

项目负责人：贾志宁

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果	备注
1	共同立项	杨洋/1；贾志宁/4 杨洋/5；沙洲/7	2018-2021	共同申请并完成了河北省省级省校科技合作开发资金项目	
2	共同立项	杨洋/3；吕日清/7 杨洋/9	2014-2016	共同申请并完成承德市科学技术研究与发展计划(第二批)项目，项目编号为:20141204。	
3	共同发表论文	沙洲/1；杨洋/4	2012-2019	Event locating strategy in ϕ -optical time-domain reflectometer based on spatial frequency energy distribution and response section edge determination	SCI
4	共同申报知识产权	贾志宁/1；杨洋/2	2012-2024	一种具有高泄漏监测精度的城市输水管道	发明专利