附件2： 2009年版

**技术开发（委托）项目**

开 题 报 告

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目名称** | **往** | **复** | **式** | **压** | **缩** | **机** | **组** | **运** | **行** | **状** | **况** |
| **光** | **纤** | **传** | **感** | **在** | **线** | **监** | **测** | **系** | **统** |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **负责单位：** | **武汉理工大学** | | |
| **项目负责人：** | **童杏林** | **职称:** | **教授** |

**研究开发年限：\_2016\_年\_xx\_月至2017\_年\_xx \_月**

编 制 须 知

一、申请承担技术开发（委托）项目时，应先向中国石油化工股份有限公司科技开发部（以下简称：科技开发部）申报本开题报告。

二、申报开题者均须同时附送相应资料：

1.新技术探索及小试项目须附查新报告、文献调查总结及探索试验情况介绍。

2.中试及工业试验项目均须按研究开发项目管理办法的规定报相应材料。

三、科技开发部根据收到的开题报告及其相应附件进行审议，经审议选定的项目可签订技术开发（委托）合同。

四、本开题报告版本自2010年1月起启用。

五、注意事项：

1. 项目名称不得超过20个汉字（一格一字）。

2. 项目负责人应是高级工程师（及相当专业技术职务）以上的专业技术职务人员；一个项目负责人最多可同时负责两个项目，其它项目只能作为项目参与人；一个项目原则上只设一名负责人，特殊情况下可设两名负责人。

3.开题报告经申请单位科技处初审，单位科技负责人审定同意，加盖申请单位（或其科技处）公章后，报科技开发部（一式四份）。

4.本报告纸张规格为A4。

# 一、国内外现状、发展趋势及开题意义

## （一）国内外相关产业和技术现状、发展趋势

往复式压缩机是石化领域重要关键设备，在企业生产中发挥着无法取代的作用[1]。往复式压缩机机械结构复杂，运行零部件之间联系紧密，一旦某一部分发生故障，往往会引起整台设备的瘫痪。特别重要的是往复压缩机压缩介质往往是氢气、烯烃等易燃易爆气体，其故障不仅可造成巨大的经济损失，而且可能造成重大安全事故，危及生产人员的生命安全，损失和社会影响难以估量。石化行业对往复压缩机的可靠性、安全性不仅提出很高的要求[2]，同时，随着石化设备管理方法的完善和科学技术发展，开始对往复式压缩机工作效率的提高提出要求。

目前国内石化行业仍然通过定期停机拆卸的方法对往复压缩机的健康状况进行检测，由于该方法属于离线检测，有时不能正确的对故障部位及状况进行判断。另外，这种定期巡检的方法停机时间长，常常是往复式压缩机没有故障也要进行拆卸检查，人为的缩短了往复式压缩机的正常工作时间，影响了企业的生产效益。针对这种状况，国内外石化企业迫切希望找到一种往复式压缩机工作状况在线监测方法，通过对往复压缩机的运行状况的多参量在线测量，能够在线监测往复压缩机的健康状况，能够准确诊断出往复压缩机的故障部位及故障类型[3]，缩短往复压缩机故障拆卸维修时间。另外，可以根据往复压缩机的健康状况，科学延长往复压缩机的正常工作时间，提高往复式压缩机的使用效率和企业的生产效益[4]。

针对往复压缩机的健康状况监测需求，美国 Dynalco、GE Bently、Prognost、Hoerbiger等国外企业开发了相应的往复压缩机在线监测系统，代表性的有Prognost 系统，美国 Dynalco公司9260CR系统，Bently 公司的 3500 监测系统。国内的北京化工大学、西安交通大学、浙江大学、合肥通用机械研究院等单位也在往复压缩机健康状况的诊断技术方面做了有益的探索，如北京化工大学利用国外的进口电类传感器开发出可对往复压缩机的振动、位移、温度等参量进行在线监测的系统。

从国内外的相关产品的技术与应用状况看，该类技术主要依赖电类传感器，但是电类传感器用于石化行业存在诸多应用限制与技术瓶颈，如必须进行防爆处理，且尺寸较大，在一些部位安装困难（如十字头轴瓦的温度检测）；复用困难，测量的点数有限，测量的参数相对较少；易受电磁干扰，测量精度较低；在应用方面，现有有关应用国内石化往复式压缩机监测的系统主要采用国外进口传感器，昂贵价格也限制其应用推广[5~7]。目前，国外公司及个别国内开发的往复压缩机运行状况监测系统仅仅通过对往复压缩机的部分参量在线监测来判断其健康状况，不仅满足不了对往复压缩机健康状况的准确诊断，更无法全面监测往复式压缩机的运行状况，实现在保证往复压缩机的可靠性与安全性基础上延长往复式压缩机正常工作时间，提高生产效率。因此，国内外石化行业迫切需要一种能够对往复压缩机的各关键部位和重点运行参量进行全面监测的系统，实现对往复式压缩机全方位、多参数监测分析与诊断。

光纤传感技术是一种新兴传感技术，能够对应力、应变、压力、振动、声信号、温度、气体成分等多参量实现高精度光学测量。与传统的电类传感器相比，光纤传感器具有许多如下优点[8]：

1. 尺寸小（光纤尺寸本身才0.125mm，为柔性材料）、重量轻，几何形状多变，可以设计成任意形状，可嵌入被测物体内部，安装方便，如可以安装在往复压缩机十字头轴瓦内部进行在线温度测量。
2. 光纤传感探头为不带电的光纤本身，光信号通过光缆传递到远端的信号解调仪表，光纤传感器本征防爆，采用该测量技术非常适合于对往复压缩机工作的易燃易爆环境的在线监测。
3. 光纤传感属于光学测量，本身精度就高，光纤传感探头不带电，抗电磁干扰，因此测量技术精度高、稳定性好。
4. 光纤本身为石英材料，耐腐蚀、耐高温，使用寿命长，适合于石化环境应用。
5. 光纤传感的一个非常大的优势是易于复用，如一根光纤上面可以同时制备几十个传感探头，易于实现准分布式的测量，不仅大大降低测量成本，对往复压缩机的多部位、多参量进行同时监测。还由于上述光纤本身为柔性材料，尺寸小，易于安装，因此可以将其组装成点、线、面实现普通电类传感无法完成的往复压缩机一些重要运行部位的一维、二维乃至三维检测。
6. 光纤传感探头与控制仪表分离，信号传输路径远，便于远距离测量及数据的传输，便于对设备的远程智能管理。

正是因为光纤传感有以上技术优势，光纤传感技术特别适合于石化机械设备运行状况的多参量检测，被国内外公认为是最具发展前景的机械设备检测技术。美国、英国及德国等发达国家的研究人员先后采用光纤传感技术监测机械设备的运行状况[9~12]，国内相关研究人员也开展了这方面的研究，佟庆彬等通过反射式光强调制型非接触式光纤传感系统进行了测量高速旋转机械径向振动的实验研究[13]；曹靳等采用光纤布拉格光栅（FBG）传感器研究了往复压缩机振动和温度异常故障状态监测技术[14]；徐刚等采用FBG加速度传感器研究了大型旋转机械的振动状况进行了检测[15]。目前，相关研究主要集中在旋转机械设备及内燃机的故障诊断[16~17]，针对往复式压缩机工作状况的研究相对较少。往复压缩机由于激励源多、结构复杂、工作环境恶劣、信号传播路径复杂，各部件所产生的振动信号之间存在严重的相互干扰，因此运行状况监测存在较大的技术难度。如上所述，采用电类传感器进行探测存在测量参量较少，成本较高，无法反映往复压缩机综合运行状况的困难。近年来少数人在利用FBG传感技术监测和诊断往复压缩机健康状况方面作了一些有益的工作，如武汉理工大学南秋明采用光纤FBG传感器通过测量往复式压缩机振动和温度状态监测往复压缩机健康状况，由于研究所用FBG振动传感器测量的振动频率较低，该研究所测温度为压缩机的外壳温度，测量参数少，关键部位又未涉及，测量结果不能真正反映压缩机的健康状态，更无法全面反映压缩机的整体运行状况。

武汉理工大学童杏林教授团队通过多年在石化行业的振动、声学、温度、应力、压力、位移、应变和气体成分等光纤传感技术的深入研究和现场技术积累，形成可用于石化行业测量与控制的光纤法布里-珀罗（F-P）、FBG和气体光纤光谱测量的系列化技术。针对石化企业往复式压缩机组的设备及工作特征，童杏林教授团队首次提出将FBG与F-P传感技术结合在一起，实现对往复压缩机整机多参量分布式测量。并采用光纤无线传感技术运用于往复压缩机的运动部件提取往复压缩机关键运行部件参数（如十字头轴瓦内部温度），并通过光纤微探头构成测量多点阵列实现对往复压缩机关键运行部位的多维及多面监测，同时，突破对往复压缩机气缸内部气压无法在线测量的限制，实现对气缸内部气压在线监测，这在国内外尚书首次。童教授团队的研究成果有望能够对往复压缩机各关键部位和重点运行参量进行全面监测，实现对往复式压缩机全方位、多参数监测分析与诊断。另外，可以根据往复压缩机的健康状况，科学延长往复压缩机的正常工作时间，提高设备的使用效率和企业的生产与社会效益。

## （二）与中国石化主业发展的关联度

在石油企业进行石油的炼制过程当中，往复式压缩机是应用非常广泛的，它的使用涉及到催化裂化反应，石油产品的脱硫、加氢制精这些重点的工艺过程[18]。

它的主要特点是结构复杂、机械部件多、机器所处的环境比较恶劣，所以往复式压缩机在应用时也会存在很多故障及失效的现象。如上所述，采用电类传感器进行探测存在测量参量较少，成本较高，无法反映往复压缩机综合运行状况的困难。因此，国内外石化企业迫切希望找到一种往复式压缩机工作状况在线监测技术方法。童杏林教授团队首次提出将FBG与F-P传感技术结合在一起，实现对往复压缩机整机多参量准分布式测量。并采用光纤无线传感技术运用于往复压缩机的运动部件提取往复压缩机关键运行部件参数（如十字头轴瓦内部温度），并通过光纤微探头构成测量多点阵列实现对往复压缩机关键运行部位的多维及多面监测，因此，往复式压缩机组运行状况光纤传感在线监测系统的研制成功有望能够在线监测往复压缩机的运行状况，同时能够准确诊断出往复压缩机的故障部位及故障类型，缩短往复压缩机故障拆卸维修时间。另外，可以根据往复压缩机的健康状况，科学延长往复压缩机的正常工作时间，提高设备的使用效率和企业的生产与社会效益。

## （三）项目的创新性

针对中国石化企业往复式压缩机组状态监测的困难，对人力和物力消耗都比较大等问题，从设备本身的实际出发，研究往复式压缩机组光纤传感监测系统，是一项具有创新意义的工作，其创新性主要体现在：

（1）首次提出将光纤传感技术应用于往复式压缩机的十字头轴瓦温度监测，采用一定的方式将特制尺寸微小、易于安装的高温光纤传感探头安装于往复式压缩机十字头轴瓦上，不破坏设备的固有结构，实现了无电检测，非常适合应用于石化行业易燃、易爆的危险场合；

（2）首次采用光纤无线传输结构单元对运动部件待测部位光信号进行传输，使传感探头与信号解调仪表的连接光纤空间分离，传感探测信号无需任何带电源的无线传输模块进行信号传输，同时避免造成传输线和连杆，十字头缠绕；

（3）将微小尺寸的光纤探头构成线型、面型或者三维传感探头可实现对磨损或者运动方向偏离部件及部位的准确在线监测；

（4）首次采用具有高频响应的光纤F-P振动或者声学传感器监测整个往复式压缩机整机工作状况；

（5）将多个相关光纤传感器集成，通过振动监测、位移监测、应力监测、键相监测、温度监测等手段，多种方式对比，来分析故障原因，实现往复式压缩机全方位、多维多参数监测分析与诊断，能及时、准确地预报设备所出现的异常现象，保证设备的安全稳定运行；

# 二、目标、内容、技术方法和路线、技术经济指标

## （一）技术目标

（1）根据中国石化武汉分公司往复式压缩机组的实际工作状况，研制往复式压缩机组光纤传感在线监测系统，实现对往复式压缩机组实时在线监测；

（2）研发一种特制尺寸微小、易于安装的高温光纤传感探头，采用一定的方式安装于往复式压缩机相应测量部位上，实现适用于石化行业易燃、易爆的危险场合的无电检测；

（3）研究开发一种光信号无线传输装置，该装置可将光源信号和传感信号无线传输到信号解调单元，解决有线传输传输线和十字头缠绕的问题，实现温度信号的实时在线监测；

（4）研制一种高灵敏度、非接触位移测量的光纤位移传感器。其测量灵敏度和准确性不受光源的波动、电路的漂移、光纤自身的微弯损耗、外界环境及被测表面性质等诸多因素的影响，实现活塞杆沉降监测；

（5）研制一种对压缩机三维振动信号在线监测的光纤F-P加速度传感器，实现对往复压缩机曲轴箱的振动监测；

（6）基于MEMS技术制作体积小巧、一致性高的光纤压力传感器对往复式压缩机气缸内部压力进行检测；

（7）实现光纤振动、位移、温度、应力、压力在线监测系统硬件与故障诊断专家系统软件的融合，真正实现压缩机组状态的在线监测和故障诊断；

## （二）技术内容和技术关键

（1）设计适合中国石化武汉分公司往复式压缩机的相关光纤传感探头，做到检测实时、准确，安装灵活方便；

（2）研究光信号无线传输技术，分析研究光信号输入输出端耦合误差，优化无线传输装置的结构，提高光传感信号的耦合率，进一步提高传感器的检测精度等性能，使其能在恶劣环境中长期稳定工作；

（3）实现光纤振动、位移、温度、应力、压力在线监测系统硬件与故障诊断专家系统软件的融合，真正实现压缩机组状态的在线监测和故障诊断。该系统需要对被测参数进行实时准确测量，并在测量值达到一定要求予以报警提示。

## （三）技术方法、路线及其可行性分析

本项目采用光纤传感技术，在吸取前期研究经验的基础上，采用多种方案并进，在实验和现场试验的实践中进行检验和优化，使整个监测系统满足往复式压缩机组光纤传感在线监测要求。总体技术方案简图1如下：



图1 总体技术方案

系统总体技术方案

技术路线

具体的技术措施如下：

往复式压缩机组光纤传感监测系统主要包括光源、各个相应传感器（包括用于十字头轴瓦温度信号传输的无线传输单元）、信号解调单元以及工控计算机等。

系统工作原理为：

将特制的多种传感探头采用特殊的方式安装于往复式压缩机上，作为信号探测单元提取所测各点处在不同工作状态下光信号，将所测传感光信号（十字头轴瓦温度信号由本团队经过特殊结构设计的无线传输单元导出）传输到信号解调单元，通过信号处理，获得参数实时变化量，并通过故障专家诊断与报警系统进行故障诊断和预警。

本系统采用的传感器包括FBG传感器和F-P传感器，其传感原理分别如下：

光纤布拉格光栅（Fiber Bragg Grating，FBG）传感器采用波长编码技术，消除了光源功率波动及系统损耗的影响，适用于长期监测。如图2所示，当一束宽带光入射到光纤布拉格光栅时，经过光栅的调制，波长满足方程（1）的光波会被光栅耦合到反向传输，形成反射波，其反射峰值波长称为Bragg波长，记为。

图2 Bragg光纤光栅传感器的工作原理

 (1)

式（1）中，******是光纤的有效折射率，**是光栅周期。应变和温度的改变会同时影响光纤的有效折射率******以及光栅周期**，从而导致光栅反射光波波长的改变。因此可以采用波长解调的方法得出光纤光栅谐振波长在外界条件的作用下发生的漂移量。由波长漂移量就可计算出目标量。这样就基本实现了光纤光栅传感系统对于多种所求参量的检测。例如振动频率、应力应变、电流强度、磁场强度、环境温度和加速度等参量。并且可以利用波分复用技术，实现在一根光纤上连接多个FBG传感器，从而可以实现分布式多点多维测量，使测量效率大大提高。

光纤F-P传感器发展自光学F-P干涉仪，其结构简单，由两块平行平板构成光学谐振腔，平板的内表面镀有反射膜。普通的F-P干涉仪体积都较大，而光纤F-P传感器由于是在两段光纤的端面镀膜形成 F-P 腔，使得其获得了体积小这一特点。外界的温度、压力、电场的变化会导致F-P腔腔长的改变，F-P腔腔长的改变会改变从光纤两端面反射回光束的光程差，最终使干涉信号发生变化，通过检测此变化的干涉信号就能解调出F-P腔腔长的变化和外界参数的变化，以达到各种参量的传感测量。光纤F-P传感器按其结构和功能主要可以分为“本征型（Intrinsic）”和“非本征型（Extrinsic）”两类。本征型F-P传感器（IFPI）利用光纤来感知外界因素的变化[19]，非本征型F-P传感器（EFPI）[20]中的光纤仅仅起到传输光信号的功能，由传感器中的其他单元作为传感部件。非本征型F-P传感器是应用最广泛的一种光纤F-P传感器，它具有腔长易控、灵敏度可调、温度特性优良等优点[21]。本系统所用即为非本征型F-P传感器，图3是一种膜片式非本征型F-P传感器，该传感器由光纤的一端和敏感膜片的一端构成F-P腔，当膜片受到外界因素（压力、温度等）而发生形变时，就会导致F-P腔腔长的改变，进而导致反射回的干涉信号光谱发生改变，通过对干涉光谱进行处理，就可以获取外界因素的变化信息。

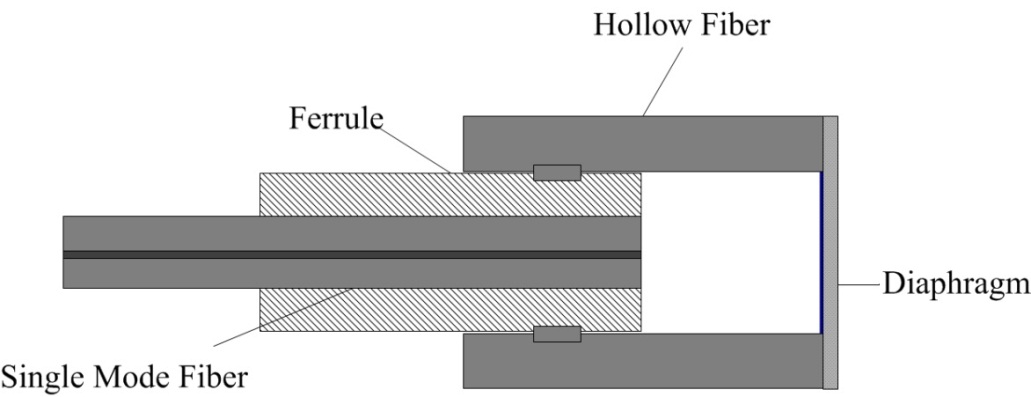


图3 EFPI传感器的结构示意图

随着微机电加工（MEMS）技术的发展[22]，光纤传感器的制作工艺经历着又一次革命。通过MEMS技术制作的光纤F-P振动和压力传感器尺寸小，便于封装，且一致性良好。这些优点使得其受到了广大研究者的青睐，国内外诸多高校都开展了相应的研究工作。童杏林教授团队研制的非本征型光纤法布里-珀罗(F-P)振动及压力传感器，产品体积小巧、一致性高，易于实现批量制作，特别适合对往复压缩机的整体运行状态进行监测。

往复式压缩机大多数零部件都处于来回的往复式工作状态，且其各零部件间连接方式多种多样，因此往复式压缩机故障大多发生于其连接部位，主要都是由于长周期磨损或者疲劳失效导致。反映其故障状态的监测参数大致上可分为两类[23]，当然，有些故障所表现出来的特征既会引起热力参数变化，也会伴有机械性能参数变化。根据对往复压缩机常见故障及机理分析，其监测方案如下：

1、气阀及活塞环泄露故障监测

气阀是压缩机的一个重要部件，属于易损件，它的质量及工作的好坏直接影响压缩机的输气量、功率损耗和运转的可靠性。气阀包括吸气阀和排气阀，活塞每往复运动一次，吸、排气阀各启闭一次，从而控制压缩机并使其完成吸气、压缩、排气等四个过程。活塞环是密封气缸镜面和活塞间间隙用的零件，另外还起到布油和导热的作用，对活塞环的基本要求是密封可靠和耐磨损。气体在气缸内经过压缩会使气体温度升高，吸气阀泄漏后，高温气体回流吸气管道经过吸气阀，会使吸气阀本身温度升高。排气阀泄漏后由于气体会回流至气缸内，也会使排气阀本身温度升高。发生泄漏的阀门则会变热，高于正常温度，导致阀门盖板温度上升。由于正常工作条件下每个阀门的温度会随负载、气体流量和环境温度发生改变，必须在相同工况的情况下对同一阀门进行温度比较。测量这些阀门的温度差别可以提供早期和可靠的阀门损坏趋势。活塞环的泄漏导致活塞两侧的气体重复压缩，将引起整个气缸内温度的升高，如果在同一个气缸内所有阀门的温度都升高，而原因又不是工况变化或润滑不充分时，极有可能是活塞环泄漏。如果活塞环泄漏，会导致在气缸头和曲轴末端的吸气阀和排气阀的温度都升高，因此，可以通过监测吸排气阀门盖的温度监测气阀及活塞环泄露故障。光纤国家工程实验室在光纤光栅高温监测已经领域具有深厚的技术积累，童杏林教授团队研发的分布式高精度高温传感器，使用一根光纤就可完成传感系统所有功能，无需电缆供能，无需额外功耗，无需额外组网，抗电磁干扰，抗振动干扰，无机械损耗，寿命长达数十年，可运行于高温环境下，其测温范围0~300℃，精度可达0.01℃，并且尺寸小、柔性好易于嵌入设备内部进行监测，可实现多点测量，形成三维测量，可完美用于气阀及活塞环泄露故障诊断。

2、十字头轴瓦过热故障监测

十字头是连接压缩机连杆和活塞杆的部件，在滑道上作往复运动，起导向作用[24]，十字头轴瓦承受强大的冲击负荷，摩擦、磨损大，工作条件最恶劣，最易出现故障。一旦出现故障，将耽搁整个生产进程，造成极大的经济损失，因此很有必要对其进行温度监测。现有测量技术瓶颈在于，由于十字头的运动特点，若采用光纤传输引出信号，则会造成传输线和连杆，十字头缠绕。因此如何将信号导出并且对十字头轴瓦进行实时监测一直是个技术难题。采用电学无线收发模块进行数据接收虽然可以解决这个问题，但其温度稳定性差，易受电磁干扰影响，需要经常更换电池，不适合进行长期安全监测。

武汉理工大学童杏林教授团队近期提出并预研了一种往复式压缩机十字头轴瓦温度在线监测技术方法，将特制尺寸微小的高温光纤传感探头采用一定的方式安装于往复式压缩机十字头轴瓦上，在线探测十字头轴瓦在不同温度工作状态下的光信号，通过特定的无线传输装置将光源信号和传感信号无线传输到信号解调单元，经过信号处理获得十字头温度实时变化量。

3、活塞杆沉降监测

支撑环主要是支撑活塞及活塞杆的重量并且导向活塞，气缸在做往复运动过程中，支撑环会隔开活塞与气缸内壁，避免两者直接摩擦。活塞支撑环属于易损耗类零件，其磨损必然导致活塞杆位置下沉，通过对活塞杆沉降值监测，可以避免由于支撑环磨损过量而引起的“拉缸”事故，从而节省昂贵的维修或非计划停车费用。除了监测支撑环磨损，通常活塞杆沉降监测能监测的故障还有十字头与活塞杆连接松动，十字头与滑道间隙过大，支撑环磨损，气缸与活塞杆同轴问题等。

童杏林教授团队研制了一种高灵敏度、非接触位移测量的光纤位移传感器，其线性范围可达5mm，频率响应0~5KHZ。其测量灵敏度和准确性不受光源的波动、电路的漂移、光纤自身的微弯损耗、外界环境及被测表面性质等诸多因素的影响，测量结果仅仅和被测位移有关，此测量系统降低了对测量电路的要求。由于采用单根光纤结构，使得光纤测头易于加工、固定、测量系统简单且易于实现。

4、振动监测

振动监测主要包括曲轴箱振动、十字头振动监测。通过对曲轴箱振动进行监测可以对往复式压缩机旋转振动传送到压缩机壳体的机械振动提供理想的监测，其主要可监测的故障有曲轴轴承损坏，曲轴变形，惯性力、倾覆力矩不平衡等。通过十字头振动的监测可监测到的故障有十字头间隙过大、十字头销衬套间隙过大、进入气缸内的液体堵塞等。

童杏林教授团队研制的本征安全的光纤加速度传感器，频响范围为0.5HZ~10KHZ，灵敏度为100mv/g ，并且集成了三个垂直方向的振动测量，实现了无电检测，非常适合应用于石化行业易燃、易爆的危险场合。

5、键相测量

在前面讨论需要拾取的信号中，缸端压力信号、振动信号和活塞杆垂直位移信号都是周期性的信号，他们的周期就是压缩机的一个工作循环，一般以曲轴旋转一周作为度量。它们的产生与曲轴转角有严格的对应关系。而在压缩机的一个工作循环中，它的转速又是波动的，因而不能把曲轴转角对应到时间域中，这就要求对压力信号和振动信号的采集必须相对曲轴转角进行同步采样，即等空间采样。要实现信号严格的等空间采样需要一个参考信号，也就是键相信号，如果以键相信号作为采样起始信号并且对压缩机某个缸的压力或者振动信号实现等空间采样（或近似等空间采样），则根据键相信号和这个缸的曲轴角对应关系，把采集到的信号从适当的位置截取出来，就得到了该缸的压力或者振动信号的整周期等空间采样信号。

童杏林教授团队研制了一种高灵敏度、非接触位移测量的光纤键相传感器。其测量灵敏度和准确性不受光源的波动、电路的漂移、光纤自身的微弯损耗，其额定检测距离可达10mm。由于采用单根光纤结构，使得光纤探头易于加工、固定、测量系统简单且易于实现。

6、活塞杆应力监测

石化企业中往复压缩机在气体压缩设备中占主导地位。据不完全统计，典型的往复压缩机机械事故中活塞杆断裂为首位，由于活塞杆断裂而引发其他零部件连锁性破坏，使高压易燃气体泄露，引起爆炸和大火，造成重大人员伤亡和严重经济损失的严重事故时有发生。目前并没有什么合适的方法对活塞杆疲劳断裂的状态进行在线监测，通常采用定期停车检修的方法对活塞杆进行无损探伤;但是定期检修不仅对企业生产是个损失，而且不能对活塞杆断裂事故进行预防。活塞杆断裂一般都是螺纹连接部位疲劳断裂，也就是说断裂是由于活塞杆产生裂纹后裂纹疲劳扩展导致活塞杆断裂。因此如果能对活塞杆有无裂纹及其裂纹疲劳扩展进行在线监测，对实现活塞杆断裂事故的早期预警，避免活塞杆断裂引起的重大事故发生具有重大意义。童杏林教授团队的FBG应变传感器，测量范围-1500~1500μɛ，应变灵敏度为1.6pm/μɛ 可以实现对活塞杆应力的多点三维测量，可以实现活塞杆断裂故障早期预警，不仅可以避免重大事故造成的人员伤亡和巨大经济损失，而且为企业更好地实施状态维修、提高经济效益奠定坚实的基础。

7、气缸压力监测

判断往复式气体压缩机整体健康状况的最有效的方法是观察气缸压力曲线。通过在线测量压缩机每个气缸的内部压力，从而可以连续监测活塞杆翻转、活塞杆压力负载峰值、活塞杆拉力负载峰值、气缸压力和压缩比等。这些都为监测吸气阀门、排气阀门、活塞环、拉缸、压力组件密封管和十字头销等的工作状况提供了有价值的信息。童杏林教授团队研制的了基于微机电系统(MEMS，Micro electromechanical System)技术制作的非本征型光纤法布里-珀罗(F-P)压力传感器，采用MEMS技术制作的光纤F-P压力传感器，压力灵敏度为1.45nm/kpa，并且体积小巧、一致性高，易于实现批量制作，特别适合嵌入待测设备内部进行监测，正好与气缸的内部压力检测的要求相契合。

因此，童杏林教授团队的研究成果有望真正实现对往复式压缩机全方位、多参数监测分析与诊断，创造极大的经济效益和社会效益。

具体的技术措施是：

分析中国石化武汉分公司往复式压缩机的待测部位的特点和相关检测要求，确定传感器的大致结构，对被检测设备进行模拟分析、测试算法研究，建立确定传感器设计方案和安装方案。根据设备需求和分析结果，特制尺寸微小、易于安装、稳定性好、重复性好、抗腐蚀、抗电磁干扰的光纤传感探头嵌入机械结构中，并通过实验研究方法对其改进，直至优化到最佳效果。

对往复式压缩机某参量进行监测时，可以对监测部位对应设置一个或多个传感器，具体数目可根据实际情况需要进行设置，防止监测部位局部变化过大，引起误差。

十字头轴瓦温度测量时所采用的光信号无线传输技术，采用特殊结构设计，其光传感信号的耦合率高，能在恶劣环境中长期稳定工作。

解调仪与工控机通过以太网线连接以传输采集的光波长信号，故障专家诊断与报警系统由故障监测报警系统软件与标定软件构成。两个软件均运行于解调仪表主机柜内的工业计算机中。监测报警系统软件长期不间断运行，实现光波长数据采集、数据分析、结果输出显示、故障预警等功能。标定软件为辅助软件，间歇运行，用于更新标定值来提高在线监测的准确度。

可行性分析

项目依托单位光纤传感技术国家工程实验室是国内规模最大的光纤传感技术研发基地，已从事光纤传感技术和大型设备安全检测多年，多次获得国家级科技奖励，总结了大量的实践经验。近年来研发的光纤传感器已在桥梁、石化、隧道、铁路等各领域中应用，检测参数包括温度、应力应变、位移、压力、振动等等。而且我单位已在机械设备的运行状态方面进行了一些研究工作，例如，我们已在武钢5#水厂进行过水泵的振动和温度监测，取得了较好的效果；另外，在武石化催化车间，对大型往复式压缩机的气缸盖、曲轴箱、十子头的振动进行了监测以及对气阀的温度进行了测量，建立了在线监测和故障诊断系统，取得了很多有价值的数据，目前系统运行良好。同时童杏林教授研究团队已针对相关的研究内容开展了一定的前期研究工作，为本项目方案的开展奠定了良好的技术基础。本项目立题明确，研究方法新颖，技术路线可行，项目组和所在单位通过前期研究已在本领域积累了丰富的基础理论和关键技术，具有较为深厚的研究基础和可靠的工作条件。另外针对本项目，实验室专门做了大量了实验，本项目主要有两大难点。

第一：研制稳定可靠、方便安装的振动、位移、温度、应力、压力光纤传感器，实验室已经有大量的技术积累

第二：设计稳定透光率高的无线传输单元。对此已经做过相关实验研究，当透光率高于20%时，都可以准确的测量出待测物体的温度，这样就可以补偿机械振动造成的光路损耗。

综上所述，该项目切实可行。

## （四）技术经济指标

建立一套往复式压缩机组在线监测系统，从而为企业生产管理和设备检修、管理提供一种更为合理的方式，避免因设备故障问题带来的生产中断和故障引发的破坏所产生的财产损失、甚至人员伤亡，使得企业运行更具有前瞻性，更加科学和有效。实现企业管理对设备监测的同时，使企业生产更加流畅的进行。避免以往只有等设备出现问题，必须中断生产才能进行检修的问题。专家系统的引入使得企业能够提前准确判断往复式压缩机潜在的故障，提出具体维护措施，大大延长了设备的使用寿命，提高了企业的生产效率，具有巨大的经济效益。

# 三、知识产权状况

（一）已有知识产权情况（专利号、专利申请号、申请人、专利名称）

无

（二）相关国内外专利检索结果（检索主题词、检索数据库名称、相关专利号、专利申请号、申请人、专利名称）

无

（三）国内外文献查询结果（文献名称、来源、发表人）

1. 孙新文. 中国石化化工事业部召开往复式压缩机故障诊断机理和监测分析研讨会[J]. 石油化工设备技术， 2007(3):65-65.
2. 王发辉， 刘秀芳， 程艳霞，等. 往复压缩机故障诊断研究现状及展望[J]. 压缩机技术， 2007(2):45-48.
3. 袁晓宇. 往复式压缩机组智能故障诊断专家系统[D]. 郑州大学， 2001.
4. 余良俭. 往复压缩机故障诊断技术现状与发展趋势[J]. 流体机械， 2014(1):36-39.
5. Zhao H， Li G， Wang N， et al. Research and Application of Electromagnetic Compatibility Technology[J]. Journal of Computers， 2012，7(9).
6. Zhao X， Lu J， Han R， et al. Application of Multiscale Fiber Optical Sensing Network Based on Brillouin and Fiber Bragg Grating Sensing Techniques on Concrete Structures[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks， 2012， 47(2012):487-513.
7. Nam S B， Yun G J， Carletta J， et al. A novel noncontact electromagnetic field-based sensor for the monitoring of resonant fatigue tests[J]. Smart Materials & Structures， 2011， 20(3):35005-35017(13).
8. 江毅. 高级光纤传感技术[M]. 科学出版社， 2009.
9. Kumar S， Mantena P. Characterization of dynamic mechanical properties of pultruded hybrid cylindrical composite rods in the torsional mode of vibration[C]// Structures， Structural Dynamics， and Materials Conference. 2013:1-2.
10. Kalamkarov A L， Fitzgerald S B， Macdonald D O， et al. The mechanical performance of pultruded composite rods with embedded fiber-optic sensors[J]. Composites Science & Technology， 2000， 60(8):1161-1169.
11. Kim S W， Jeong M S， Lee I， et al. Effects of mechanical and geometric properties of adhesive layer on performance of metal-coated optical fiber sensors[J]. International Journal of Adhesion & Adhesives， 2013， 47(47):1-12.
12. Maheshwari M， Annamdas V G M， Tjin S C， et al. Damage monitoring using fiber optic sensors and by analysing electro-mechanical admittance signatures obtained from piezo sensor[C]// SPIE. 2015.
13. 佟庆彬，马惠萍，刘丽华，等. 高速旋转机械径向振动检测系统关键技术研究[J]. 仪器仪表学报， 2011， 32(5):1026-1032.
14. 曹靳，徐刚，戴玉堂，等. 基于光纤传感器的压缩机状态监测[J]. 光学与光电技术， 2013， 11(1).
15. 徐刚. 基于光纤传感的机械设备动态监测关键技术研究与应用[D]. 武汉理工大学， 2013.
16. 屈梁生， 张海军. 机械诊断中的几个基本问题[J]. 中国机械工程， 2000， 11(1):211-216.
17. 贯士国， 赵亚力， 王绪涛. 大型活塞式压缩机常见故障及处理措施[J]. 化工设备与管道，2003，29(6):17-19.
18. 宋丽华. 浅谈石油化工压缩机的发展及其应用--往复式压缩机的故障诊断及关键部件失效行为分析[J]. 中国新通信， 2014(6):60-61.
19. Jiang M S， Sui Q M， Jin Z W， et al. Temperature-independent optical fiber Fabry–Perot refractive-index sensor based on hollow-core photonic crystal fiber[J]. Optik - International Journal for Light and Electron Optics， 2014， 125(13):3295-3298.
20. Wang X， Xu J， Zhu Y， et al. All-fused-silica miniature optical fiber tip pressure sensor[J]. Optics Letters， 2006， 31(7):885-7.
21. Xiao S R， Zhu P， Ben F L. Analysis on characteristics of optical fiber sensor for atmospheric pressure[J]. Optics & Precision Engineering， 2008， 16(6):1042-1047.
22. Song S H， Gillies G T， Begley M R， et al. Inductively coupled microfluidic pressure meter for monitoring of cerebrospinal fluid shunt function[J]. Journal of Medical Engineering & Technology， 2012， 36(3):156-62.
23. 李连生. 容积式压缩机技术手册[M]. 机械工业出版社， 2000.
24. 张波. 往复压缩机十字头与活塞杆连接部件简介[J]. 压缩机技术， 2016(2):36-38.

（四）中国授权或公开的相关专利分析（给出本研究目前是否和国内已公开专利相冲突的分析结论，对有相冲突可能的专利，给出专利号、专利申请号、申请人、专利名称，法律状态、专利权利要求，提出的创新或规避对策）

无

（五）国外公开文献和未在中国申请的相关国外专利分析（概述这些文献和专利的创新和效果，提出本课题予以借鉴、利用的设想）

无

# 四、市场前景分析

## （一）国内外市场现状和需求分析

国外对压缩机组故障监测起步较早，目前在市场上已有很多的系统产品，这些系统大多可靠性好，功能齐全，技术成熟，但也存在价格昂贵、维修不便、用户界面对电厂人员使用有困难等缺点。我国在压缩机十字头轴瓦的温度监测方面起步相对较晚，直到近20年，才有一些高等院校和研究所从事这方面的工作，也有一些系统产品问世，但国内的这些系统则存在检测不准确、维护不便，系统稳定性、实时性有待提高。

目前国内外对于压缩机组故障监测多采用电类传感器，而化工工业对于现场的电的使用有着苛刻的要求，并且该类传感器存在温度稳定性差、信号无法进行长距离传输等诸多问题。缺少一种安全可靠、实时在线的监测手段，对压缩机十字头轴瓦的运行状况的实时在线监测仍是一个难题，特别是在石油化工等易燃易爆领域，一种本质安全的监测系统更是难上加难，因此开发出一套能够对石油化工往复式压缩机全方位、多参数监测分析与诊断的实时在线的监测系统是势在必行的。

## （二）经济效益和社会效益预测

建立往复式压缩机组监测系统，可以提高企业的管理效率和生产效益，主要体现在：可以提前判断设备故障，避免设备故障导致的生产滞后或停止，提高企业生产管理效率。最重要的是，该技术将彻底改变定期巡检的方法停机时间长，设备没有故障也要进行拆卸检查的缺陷，提高了了设备的正常工作时长，提高了企业的生产效益。

# 五、开题条件

## （一）技术准备

武汉理工大学光纤传感技术国家工程实验室已从事光纤传感技术和大型设备安全检测多年，该研究中心承担了国家自然科学重点基金、863等多项国家和省部级科研项目，在光纤传感技术及其应用方面取得了一系列成果，多次获得国家级科技奖励，总结了大量的实践经验。近年来研发的光纤传感器已在桥梁、石化、隧道、铁路等各领域中应用，检测参数包括温度、应力应变、位移、压力、振动等等，申请团队童杏林教授团队已和武汉石化建立了良好的合作关系。本项目组长期从事光纤传感器的研究，已研制出光纤温度、、声学、气体、压力及振动等传感器，且已成功应用到实际工程中，且项目组在测量光源、光电信号处理方面已有成熟技术，已经预研并试制稳定可靠、方便安装的温度传感器， 对设计稳定透光率高的无线传输单元，已做过相关实验研究。这都为本项目打下了良好的基础。

## （二）人员情况

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 姓名 | 职称 | 主要工作经验和研究领域 |
| 童杏林 | 教授 | 光纤传感技术 |
| 邓承伟 | 副教授 | 光纤传感技术 |
| 张翠 | 副教授 | 光纤传感技术 |
| 曹驰 | 硕士生 | 光纤传感技术 |
| 陈亮 | 硕士生 | 光纤传感系统设计 |
| 周超然 | 博士生 | 信号处理系统研制 |
| 张宝林 | 硕士生 | 软件设计与实现 |
| XX | XX | XXXXXX |
| XX | XX | XXXXXX |
|  |  |  |
|  |  |  |

\*人员情况系指专题负责人和主要参加人的姓名、职务、专业技术职称及主要科技成就。

## （三）现有仪器设备及实验室条件测试

武汉理工大学光纤传感技术国家工程实验室是由姜德生院士领导的研发团队，拥有大批的专业技术人员和国际先进的检测和标定设备，已从事光纤传感技术研究和大型设备安全检测多年，多次获得国家级科技奖励，总结了大量的实践经验，而与中国石化武汉分公司有着多年良好的合作关系。近年来研发的光纤传感器已在桥梁、石化、隧道、铁路等领域中应用。实验室主要仪器和设备有：精密电控移动平台（美国Thorlabs公司的nanomax平台）；光学准直系统；B-OTDA设备（瑞士omnisens公司）；OTDR设备（日本横河公司的AQ7260）；光谱分析仪多台（日本ando公司）；可调谐激光器（美国santec公司的TSL510）；高低温试验箱； DFB激光光源； EDFA光放大器；半导体光放大器；美国安捷伦公司的示波器infinivison6000;Photoline公司的10G Hz光强度调制器模块；美国NI公司的高速数据采集与调理平台，包括PXIe-8133嵌入式控制器、1GHz带宽的Pxi-5154数字化仪、PXIe-5122数字化仪、PXI-5421 100M波形发生器、PXI-6115同步数字采集卡；10G高速光探测器。本单位另有高性能示波器、光纤定位调节和控制系统以及锁相放大器、可编程滤波器、逻辑分析仪、频谱分析仪、矢量网络分析仪等。具有很强的从事光学信号采集、信号处理光电仪器开发能力。

六、计划进度和考核目标

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年度 | 序号 | 工作内容 | 试验规模及应达到的指标 | 起止时间  （月-月） | 试验地点 | 验收方式\* | 受托方及负责人 | 备注 |
| 2016 | 1 | 分析设备现状，确定检测需求 | 确定设备检测位置和检测方法 | 5-6 | 武石化 |  | 童杏林 |  |
| 2016 | 2 | 确定传感器设计方案 | 建立确定传感器设计方案和安装方案 | 7-9 | 武石化 | 审查 | 童杏林 |  |
| 2016 | 3 | 开发传感器样机，并进行实验 | 完成传感器系统的结构设计等工作进  行实验和改进，直至优化到最佳效果 | 10-12 | 武石化 | 审查 | 童杏林 |  |
| 2017 | 4 | 研发、调试解调系统 | 实现系统实时、在线的采集、分析，  准确显示设备运行状况。传感器样  机的开发，进行各方面的试验和功  能完善，并对相应的配置与软件调试； | 1-4 | 武石化 | 审查 | 童杏林 |  |
| 2017 | 5 | 建立故障诊断专家系统 | 根据采集数据进行分析，找出异常  状况的阈值信号，并提出处理方案。 | 5-9 | 武石化 | 审查 | 童杏林 |  |
| 2017 | 6 | 总结 | 撰写总结报告 | 10-12 | 武石化 | 审查 | 童杏林 |  |

注：1.验收方式指鉴定、评议、审查、其他。

2.按年度写出各年度安排， 跨年度的内容分年度填写;负责单位应包括协作单位。

3.除备注外的各栏目应全部填报。

# 七、项目经费预算

表1 项目经费预算表

金额单位：万元

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 经费用途 | 费用（万元） | 备注 |
| 1 | 设备费 | 10 | 光源、数据采集卡、解调仪等 |
| 2 | 材料费 | 6 | 实验用光纤、光学元器件等 |
| 3 | 测试化验加工费 | 2 | 传感探头的加工及系统性能测试 |
| 4 | 燃料动力费 | 0 | 水电、气、燃料消耗费用 |
| 5 | 会议费 | 2 | 学术交流 |
| 6 | 差旅费 | 2 | 项目调研与外协 |
| 7 | 合作、协作研究与交流费 | 0 |  |
| 8 | 出版/文献/信息传播/知识产权事务费 | 1 | 资料、论文出版等费用 |
| 9 | 人员劳务费 | 13 | 课题组研究生的补助和项目外聘人员的工资等 |
| 10 | 管理费 | 2 |  |
| 11 | 专家咨询费 | 1 | 专家和技术人员指导科研工作等 |
| 12 | 其他开支 | 1 | 不可预测费用 |
|  | 总计 | 40 |  |

表2 预计经费来源表

单位：万元

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 来源 | 委托方支付 | 受托方自筹 | 合计 |
| 金额 | 40 | 0 | 40 |

\*：其它是指国家（科技攻关、863、973、国家自然科学基金等）支持的与本项目有关的经费以及项目负责单位自筹部分的经费。

# 八、经费使用计划

申请委托方拨款计划表 单位：万元

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 单位名称 | 用款总额 | 2016年 | 2017年 |
| 武汉理工大学 | 40 | 40 |  |
|  |  |  |  |
| 合计 | 40 | 40 |  |

# 九、申请单位审查意见

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 申请单位科技处处长 |  |
|  |  | （签字） |
|  |  | 年 月 日 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 申请单位科技处处长 |  |
|  |  | （签字） |

申请单位（或其科技处） 盖章

年 月 日