

上海交通大学大学生创新实践计划项目申报表

一、基本情况

项目名称	自驱动式管道缺陷检测装置						
英文名称	Self-propelled pipe defect detection device						
所属学科	学科一级门:	工学		学科二级类:	机械类		
相关学科	学科一级门:	工学		学科二级类:	仪器类		
项目来源	学生自选						
申请金额	12000 元		执行期限		1 年		
导师配套	12000 元		企业赞助		0 元	申请学分	3 分
负责人姓名	徐文焯	性别	男	民族	汉	出生年月	2000 年 8 月
学号	518021910338	所属院系	机械与动力工程学院			专业	机械工程
联系方式	邮箱: xuwenzhuo46@sjtu.edu.cn 手机:15996288618						
负责人曾经参与科研的情况	发表一篇第一作者核心期刊文章; 一篇第一作者 EI 论文 参与两项发明专利, 均为第二作者 目前在上海交通大学燃烧诊断实验室工作						
指导教师	张会生	联系方式	邮箱: zhslm@sjtu.edu.cn 手机: 13818875114				
导师工号	08031	所在学院	机械与动力工程学院				
指导教师承担科研课题情况	2019.01-2022.12 自然科学基金“多物理场下的燃气轮机高温叶片全运行周期寿命模型研究”负责人 2018.01-2021.12 国防重大基础研究计划“基于数据融合的 XX 优化技术研究”负责人 2017.11-2020.06 中航发商发公司“融合算法设计”负责人 2017.12-2020.06 中航发商发公司“基于物理模型的气路性能衰退诊断算法设计与验证”负责人						

指导教师对本项目的支持情况		<p>本项目指导教师长期从事系统故障诊断及仿真方面的工作，在本项目意图解决的问题方向拥有丰富的经验，能够及时发现项目进展过程中的问题和错误并及时指正，对于本项目所需的各种理论知识也十分熟悉，能够提供有力的支持。</p> <p>指导教师所在的叶轮机械研究所研究环境优异，相关设备十分齐全，可以在本项目的制造和测试阶段提供坚实的物质支持。</p> <p>指导教师长期从事科学研究和教学工作，对于项目流程十分熟悉，能够通过言传身教使我们更好地理解科学精神，培养我们吃苦耐劳、实事求是的科学态度。</p>			
项目组主要成员	姓 名	学号	手机	邮箱	项目中的分工
	徐文焯	518021910338	15996288618	xuwenzhuo46@sjtu.edu.cn	协调进度，项目管理，机械设计
	张泽楷	518021910028	13958438390	1263158454@sjtu.edu.cn	负责电控系统搭建与设计
	易俊杰	518021910589	19805168288	yijunjie@sjtu.edu.cn	负责机械建模，理论工作
	邵昊南	518021910335	13429393012	shnyoungline@sjtu.edu.cn	负责调研采购，加工装配

二、立项依据（可加页）

（一）项目简介（200 字以内）

水滑梯等管道中的毛刺和裂纹等缺陷常常引起诸多安全问题，传统的人工检测方式成本高、精度低，危险性高，而现有的自动检测装置难以兼顾灵活性和检测速度。为了解决这个问题，我们设计了一种自驱动式管道缺陷检测装置。该装置将采用支撑轮结构，配合万向轴承、可变悬挂，实现在多种口径、多种路线形状管道内的稳定连贯移动。搭载结构光视觉传感器和超声波传感器，能够同时实现对表面毛刺和内部缺陷的的自动化高精度检测。

（二）研究目的

近年来，以游乐园水滑梯为代表的管道基础设施安全问题频发。阅读水滑梯国家标准，“尖角”“毛刺”等字眼频繁出现，表明设计和使用以水滑梯为代表的水上设施时，应当非常注重其表面的光滑程度。目前，相关检测主要由人工进行，操作繁琐且有一定危险，检验时容易出现疏漏，定期检验不容易将问题扼杀于初期。因此，开发一款能够自动、高效、准确检测管道毛刺与裂纹的机器，能做到防微杜渐，降低安全事故发生率，具有相当的价值和意义。

尽管目前已经有一些管道检测装置投入实际使用，但这些装置往往只能沿固定路线前进，缺乏对各种形状管道的适应能力。而部分能够在不同形状管道内前进的装置前进十分缓慢，效率十分低下。

为了解决这个问题，本项目旨在开发一款集行动灵活性、工作效率、检测精度和低使用成本于一体的新一代自驱动式管道缺陷检测装置

（三）研究内容

对自驱动式管道机器人的设计我们主要分为两部分。一是机械结构设计，二是电路控制与缺陷检测设计。我们的项目重点在于通过设计机构，解决沿管道内壁平稳前进和适应各种管道情形的问题。再辅之以相应的电路控制和缺陷检测装置，实现管道内壁缺陷检测的功能。

（四）国、内外研究现状和发展动态

1978 年，法国人 J. Vrèrnut 第一个提出轮式管道机器人的行走结构模型，从此该领域开始迅猛发展。日本与美国相继研究出了微型管道机器人（1993）和长距离管道机器人（2001）。中国的管道机器人产业起步较晚。但上海交通大学研发了小

口径管道内蠕动式移动机构，上海大学利用石油管道的石油高压研制成在役石油管道检测机器人，都为我国相关产业的发展迈出了坚实的第一步，创造了广阔的发展前景。目前国内外实现管道机器人的技术路线如下：

1. 轮式（履带式）管道机器人

轮式机器人发展较早，结构简单。目前市面上绝大部分管道检测机器人，包括运用于市政方面的管道检测机器人，都属于此种类型。

轮式机器人移动速度快，可以承载较为多样的传感器和检测设备。图 1 中机器人在管道中的行走速度可达 5m/min。除了燃气管道等工业用管道之外，轮式机器人在市政工程中也有广泛的应用。英国 PEARPOINT 公司制造了一种用于自来水管道的轮式机器人。该机器人的检测移动速度进一步提升，最高可达 15m/min。

由于天生的结构限制，轮式管道机器人在大部分情况下只能沿直线行进。在最好情况下，长度较短的管道机器人可以通过较为平缓的弯道行进。东京理科大学曾经开发出一款可以通过近似直角的轮式管道机器人，但进行速度只能达到 0.48m/min。

综上，轮式机器人受到的最大限制来源于驱动轮与牵引力，灵活性的平衡难以掌握。同时，载物重量，驱动电机功率也必须纳入考量范围。

2. 蠕动式管道机器人

蠕动式管道机器人在行进方式上较多参考了蚯蚓等昆虫的生理结构，采用支撑脚与运动躯干交替行进的驱动方式。此种运行方式极大地减小了机器人运行时的阻力，大大提升了机器人的驱动能力。对于在细小管道内，乃至生物体内工作的微型机器人而言，蠕动式以极小的功率产生数倍于自身的驱动力，运用十分广泛。但是，蠕动式机器人运行速度极其缓慢，并且运动为间歇性行进，对于传感器要求较高。该机器人在大型工业领域较少见到实际应用

3. 螺旋推进式管道机器人

螺旋推进式机器人运动分为两个部分，静止部分和推进的旋转部分。螺旋推进式机器人驱动力大，运动十分稳定，并且精度高。但是由于螺旋式机构只能沿轴线前进，不具备主动转向功能，因此翻越障碍的能力极差。

4. 爬行（腿脚）式管道机器人

爬行式管道机器人拥有极佳的障碍越过能力，可以灵活地实现转向和运动控制。西门子公司和国内外许多研究机构都开发出了四足乃至六足的管道爬行机器人，并在小规模内实现了工业运用。然而，相对于其他机器人形态而言，爬行式机器人组成十分复杂，价格昂贵，难以实现大规模铺开应用。

5. 利用流体压力自驱动机器人

早在上世纪 50 年代即有人提出使用无动力机器人执行管道任务的设想。早期研制的 PIG 管道清理设备即属于此类范畴。然而此种机器人自身没有驱动装置，在流体推动时，速度和目标区域均难以控制，不适宜进行相关活动。

6. 利用外界机构驱动机器人

加拿大最先成功制造出完整的双履带式管内机器人系统，履带采用刚性支承结构，其结构连接紧凑，刚性好。但这种刚性支承的履带在行走过程中会使两个履带之间的夹角无法改变，因此只适用于管径没有变化的普通作业场合[1]

蠕动式管道机器人可沿垂直管爬行，对凹凸部位的适应性好，可以通过弯管接头，但是其构造复杂，不易小型化，间歇运动，行走速度慢。[2]

目前主流的管道检测技术主要包括：可见光成像系统，基于激光，X 射线，红外成像等成像系统和地面穿透雷达等[3]。其中，超声波探测可以在声阻不同的两个界面上发生发射，适合探测管道内部缺陷。在许多使用环境中，超声波探测都有比 X 射线更高的精度，并且对人体无害[4]。然而管道内壁的工况较为复杂，声束的反射方向不能确定，需要较高的处理技巧来实现对于缺陷的有效识别。我们希望在后续的工作中解决这一问题。

[1]甘小明,徐滨士,董世运,张旭明.管道机器人的发展现状[J].机器人技术与应用,2003(06):5-10.

[2]沈乃勋,吕恬生,夏信东.管道内部行走与检测机器人的发展现状与展望[J].机械设计与研究,1993(03):42-44.

[3]王永雄. 管道机器人控制、导航和管道检测技术研究[D].上海交通大学,2012.

[4] Morphological segmentation based on edge detection for sewer pipe defects on CCTV images[J] . Tung-Ching Su,Ming-Der Yang,Tsung-Chiang Wu, Ji-Yuan Lin. Expert Systems With Applications . 2011 (10)

（五）创新点与项目特色

1. 能够地毯式准确检测管道内的各类缺陷，如毛刺、裂纹、凹陷等，并给予反馈。
2. 具有较强驱动力，能够在平直管道内以较为理想的速度运动。
3. 具备一定爬坡能力与下坡能力，对于不太陡峭的斜坡，能够稳定上行与下行。
4. 具备一定的灵活性，能够顺利转过适当角度范围内的弯角。
5. 具备一定伸缩性，能适应多种管道尺寸，能应对不同管道形状。
6. 运动稳定、连贯，不产生多余的抖动与顿挫。
7. 能够应对一定的恶劣状况，维持预期功能。
8. 结构精简，使用与维护成本低。

（六）技术路线、拟解决的问题及预期成果

1. 管道内壁支撑：机构整体能将轮子压在管壁内侧，使得轮子在滚动时能产生足够的滚动摩擦力作为动力，驱动整个机构沿着管道前进。所能达到的最大驱动力能支撑机械在 60°斜坡上依然能向上前进。
2. 适应各种管道：通过将机构分成两部分用万向节连接，使得机械前部能自动沿着弯的管道前进。
3. 传动机构：由于靠轮子驱动整个机构，为了能够实现机构稳定前进，我们准备用单电机驱动三个轮子，其中的传动机构要在连着轮子的那根杆能伸缩的情况下依旧能达到传动的效果。
4. 电路逻辑搭建：通过开关启动，树莓派控制，使得按下开关后，电机能带动机构沿着管道平稳地前进。
5. 缺陷检测：通过结构光对管道内表面进行投影，并使用视觉传感器通过检测光表面的变形计算出表面的微小凸起及凹陷。在结构光之外辅以超声传感器检测管道内部的缝隙。

（七）项目研究进度安排

1. 市场调研与技术调研：9/21 - 10/9
2. 初步设计草图：9/28 - 10/30
3. 建立具体设计方案并绘制草图：10/19 - 12/4
4. 绘制三维模型：11/23 - 翌年 2/5 （以下省略“翌年”）
5. 电控逻辑搭建：1/4 - 4/9
6. 控制程序编写：1/4 - 4/9
7. 受力仿真与运动仿真：3/1 - 4/9
8. 传感器测试、编程与融合：3/1 - 5/21
9. 零件采购：3/29 - 4/30
10. 零件加工与装配：4/12 - 5/28
11. 工作环境搭建：4/26 - 5/24
12. 实物测试与调试：5/31 - 7/23
13. 总结报告：7/19 - 8/13

（八）已有基础

1. 与本项目有关的研究积累和已取得的成绩

1. 团队成员拥有丰富的机械设计以及制造经验，参与增材制造方面专利两项，管道运动方面的机械设计斩获机械创新大赛校赛一等奖。
2. 本项目的指导教师长期从事材料缺陷的无损评价和表征方面工作，在传感器方

面有丰富的技术积累，拥有相关专利 6 项，软件著作权三项。

2. 已具备的条件，尚缺少的条件及解决方法

尚缺少的条件：

1. 团队成员专业水平有限，对于研究过程中所需的一些理论知识还没有系统学习，容易遇到技术瓶颈
2. 作为在读本科生，研究时间与学习时间难免相互挤占，容易产生技术问题。
3. 学校的实验环境与实际运用工况存在较大差距，在实验室中缺乏对生产实际的了解及调试环境。
4. 团队希望开发拥有完善功能的产品，需要大量资金投入，经费较为紧张。

解决方案：

1. 在教师指导下，努力学习相关理论知识，提高技术水平。
2. 充分利用假期及休息时间推进项目工作，做到学习与项目的良好平衡。
3. 通过指导教师的产业资源，充分前往生产一线进行调研学习，争取在实际环境下进行调试。
4. 做出完善样机之后，争取社会投资，实现量化生产。

三、经费预算

开支科目	预算经费 (元)	主要用途
预算经费总额	24000	(与申请金额相等)
1. 办公费	0	
2. 印刷费	100	印刷论文材料所需费用
3. 邮电费	200	邮寄零件材料及合同产生的费用
4 市内交通费(不超过 5%)	400	市内零件采买，企业实地考察费用
5. 差旅费	2400	调研和会议旅费
6. 会议费	2000	参加国内会议费用
7. 培训费	0	
8. 材料费	13900	购买电机、控制板等所需材料，外包部分加工零件费用
9. 实验测试费	1000	做标准样品测试标定
10. 图书资料费	4000	申报专利或者论文所需预留费用

11. 其他费用	0	
----------	---	--

四、指导教师意见

<p>本项目创新性较强，拥有较大的实用意义和研究价值，同意立项。</p>
