



|      |            |
|------|------------|
| 申请代码 | E0408      |
| 接收部门 |            |
| 收件日期 |            |
| 接收编号 | 5240040191 |



# 国家自然科学基金 申 请 书

(2024 版)

|        |                           |       |                |
|--------|---------------------------|-------|----------------|
| 资助类别:  | 青年科学基金项目                  |       |                |
| 亚类说明:  |                           |       |                |
| 附注说明:  |                           |       |                |
| 项目名称:  | 可控磁驱粘合材料的跨尺度性能调控及应急带压封堵机理 |       |                |
| 申 请 人: | 马云龙                       | BRID: | 03831.00.88288 |
| 办公电话:  |                           |       |                |
| 依托单位:  | 常州大学                      |       |                |
| 通讯地址:  | 江苏省常州市武进区潞湖中路21号          |       |                |
| 邮政编码:  | 213164                    | 单位电话: | 051986339596   |
| 电子邮箱:  | mayunlong@cczu.edu.cn     |       |                |

国家自然科学基金委员会



## 基本信息

|          |         |  |      |                       |                       |               |    |    |
|----------|---------|--|------|-----------------------|-----------------------|---------------|----|----|
| 申请人信息    | 姓名      | 马云龙  | 性别   | 男                     | 出生年月                  | 1992年08月      | 民族 | 汉族 |
|          | 学位      | 博士   | 职称   | 讲师                    |                       |               |    |    |
|          | 是否在站博士后 | 否  |      | 电子邮箱                  | mayunlong@cczu.edu.cn |               |    |    |
|          | 办公电话    |  |      | 国别或地区                 | 中国                    |               |    |    |
|          | 申请人类别   | 依托单位全职   |      |                       |                       |               |    |    |
|          | 工作单位    | 常州大学/安全科学与工程学院、应急管理科学与工程学院   |      |                       |                       |               |    |    |
|          | 主要研究领域  | 油气储运安全   |      |                       |                       |               |    |    |
| 依托单位信息   | 名称      | 常州大学   |      |                       |                       |               |    |    |
|          | 联系人     | 杨松   | 电子邮箱 | ysong2009@cczu.edu.cn |                       |               |    |    |
|          | 电话      | 051986339596   | 网站地址 | www.cczu.edu.cn       |                       |               |    |    |
| 合作研究单位信息 | 单位名称    |  |      |                       |                       |               |    |    |
|          |         |  |      |                       |                       |               |    |    |
| 项目基本信息   | 项目名称    | 可控磁驱粘合材料的跨尺度性能调控及应急带压封堵机理  |      |                       |                       |               |    |    |
|          | 英文名称    | Research on cross-scale performance control and emergency pressure sealing Mechanism of controllable magnetic actuation adhesive |      |                       |                       |               |    |    |
|          | 资助类别    | 青年科学基金项目   |      |                       |                       | 亚类说明          |    |    |
|          | 附注说明    |  |      |                       |                       |               |    |    |
|          | 申请代码    | E0408. 安全科学与工程   |      |                       |                       |               |    |    |
|          | 研究期限    | 2025年01月01日 -- 2027年12月31日   |      |                       |                       | 研究方向：重大基础工程安全 |    |    |
|          | 申请直接费用  | 30.0000万元  |      |                       |                       |               |    |    |
|          | 研究属性    | 目标导向类基础研究  |      |                       |                       |               |    |    |
| 中文关键词    |         | 工程风险；泄漏应急封堵；油气储运安全；磁驱粘合材料  |      |                       |                       |               |    |    |
| 英文关键词    |         | Engineering risks; Emergency leakage plugging; Oil-gas storage and transportation safety technology; Magnetic actuation adhesive |      |                       |                       |               |    |    |



|      |  |
|------|--|
| 中文摘要 | <p>管道泄漏事故频发，给工业和市政安全提出了巨大挑战。本项目聚焦于泄漏应急处置技术瓶颈，提出将磁驱粘合材料引入泄漏修复领域，研发新型可控磁驱粘合材料及应急封堵方法。通过材料理化特性表征，反应动力学模拟等方法，揭示材料性能调控的微观、介观和宏观多维作用机理和跨尺度间的内在关联，合成以管道泄漏应急封堵为目标导向的新型可控磁驱粘合材料。构建泄漏封堵过程等效力学模型，提出二相多场耦合数值计算方法，实现材料带压封堵过程的应力应变规律和电磁学特性可视化，探明材料在泄漏流场和变化磁场共同作用下的力-磁耦合动态响应和封堵机制，为材料的封堵应用提供理论基础。搭建全尺寸管道泄漏应急封堵实验平台，开展磁驱粘合材料应急带压封堵仿真试验，验证研究理论，指导材料性能优化。结合机器学习构建技术指标体系，提出基于磁驱粘合材料的管道泄漏应急封堵新方法。项目拓展泄漏封堵方法研究思路，为可控封堵材料的研发提供理论基础和支撑。</p>   |
| 英文摘要 | <p>The frequent occurrence of pipeline leakage accidents poses a huge challenge to industrial and municipal safety. Therefore, this project focuses on the bottleneck of leakage emergency response technology, proposes to introduce magnetic actuation bonding materials into the field of leakage repair, and develops new controllable magnetic actuation adhesives and emergency plugging methods. Reveal the microscopic, mesoscopic and macroscopic multi-dimensional action mechanism of material performance regulation and the internal correlation between cross-scales through the characterization of material physical and chemical properties, reaction kinetics simulation, and other methods. Synthesize new controllable magnetic actuation adhesive with the goal of pipeline leakage emergency plugging. The equivalent mechanical model of the leakage plugging process will be constructed, and the two-phase multi-field coupling numerical calculation method will be proposed to realize the visualization of the stress-strain law and electromagnetic characteristics of the material's pressure plugging process. Furthermore, the force-magnetic coupling dynamic response and plugging mechanism of the material under the joint action of the leakage flow field and the changing magnetic field will be proved, which will provide theoretical basis for the plugging application of the material. A full-scale pipeline leakage emergency plugging experimental platform will be built to carry out the emergency pressure plugging simulation test of magnetic actuation adhesive, verify the research theory, and guide the material performance optimization. Combine with machine learning to build a technical index system, a new method of pipeline leakage emergency plugging based on magnetic drive bonding materials will be proposed. The project will expand the research ideas of leakage plugging methods and provide theoretical basis and support for the research and development of controllable plugging.</p> |



## 报告正文

参照以下提纲撰写，要求内容翔实、清晰，层次分明，标题突出。  
请勿删除或改动下述提纲标题及括号中的文字。

### （一）立项依据与研究内容（建议 8000 字以内）：

1. 项目的立项依据（研究意义、国内外研究现状及发展动态分析，需结合科学研究发展趋势来论述科学意义；或结合国民经济和社会发展中迫切需要解决的关键科技问题来论述其应用前景。附主要参考文献目录）；

#### 1.1 研究背景及意义

管道输送具有安全稳定、高效连续、成本低廉等诸多优势，然而，由于腐蚀、自然灾害、施工破坏等诸多因素导致的管道泄漏问题却在所难免，严重威胁工业生产和市政安全建设。随着管线规模基数不断增长，老旧管线可靠度逐年降低，管道泄漏事故锐增。2019-2023 年，全国地下管线破坏事故从 346 起增加至 1954 起，平均年增长率约 54%，其中泄漏事故占比约 83%，泄漏失控进而引发的火灾、爆炸、窒息和中毒事故是造成大量的人员伤亡的主要原因<sup>[1]</sup>。及时有效的应急封堵措施，可以控制泄漏介质蔓延，减小污染范围，降低次生燃爆事故概率，对于提高国家应急响应水平，保障工业和公共安全具有重要意义。

《“十四五”国家应急体系规划》对管道救援技术与装备的研发提出了重点要求，面对频发的泄漏事故，应急封堵技术尤为重要。

应急带压封堵需要在克服泄漏射流冲击力的作用下阻塞破口，并持续抵抗管内压力，因此，封堵载荷和密闭性是两大核心问题。施加载荷不足难以实现封堵或容易导致封堵失效，而过载可能导致管道应力状态失稳或结构破坏，使泄漏事故进一步恶化；与此同时，对封堵部位的结构适应性则直接决定能否密封。现有的应急封堵方式，诸如堵漏夹具、补板等，存在载荷或结构适应方面缺陷，致使封堵成功率低，易失效，并且严重危及作业人员人身安全<sup>[2,3]</sup>。例如，2023 年 1 月 15 日，辽宁盘锦某化工企业发生管道泄漏事故，经前后四次带压封堵失败，管线爆裂发生爆炸，造成 13 人死亡，35 人受伤，直接经济损失约 8799 万元。面对泄漏事故一筹莫展，充分暴露出我国在泄漏应急处置技术方面存在严重不足，急需研发高效可靠的泄漏应急封堵技术，满足消防救援和事故应急响应的迫切需求。



由于高压管道通常为钢铁材质，磁力封堵可以依靠磁铁对管道的磁吸力抵抗泄漏压力，可避免载荷造成管道二次损伤，从一定程度上解决了载荷问题。然而，由于刚性磁铁与管壁难以完全贴合，加装密封垫片会严重影响磁铁对管壁的磁吸力，难以兼顾封堵载荷和结构适应问题，限制了该技术在管道泄漏应急封堵领域的应用。在不损失磁力的同时弥补结构适应性的缺陷是突破磁力封堵技术瓶颈的关键。磁驱粘合材料是近年来在磁流变材料的基础上发展而来，不仅保留了磁流变材料的特性，通过控制磁场实现流体和固体的**物态转变**，**力学性能显著增强（>10 倍）**，还具备**高粘接强度（>20 MPa）**，满足**结构适应和封堵强度需求**<sup>[4, 5]</sup>。同时，磁驱粘合材料具备较高的磁导率，作为衔铁构建闭合磁路可有效提高磁铁的磁吸力，强化系统磁吸力，满足**封堵载荷需求**，是作为泄漏应急封堵材料的理想之选。将磁驱粘合材料引入泄漏应急处置技术研究领域，研发基于磁驱粘合材料的泄漏应急封堵方法，或将突破泄漏应急封堵技术壁垒，摆脱当前泄漏应急处置困境。因此，**面向管道泄漏应急封堵的磁驱粘合材料的研发及其带压封堵机理是本项目的研究重点**。

材料性能的调控机理是指导材料功能设计和性能优化的理论依据，也是研发面向泄漏应急封堵的新型磁驱粘合材料的**底层科学问题**。磁驱粘合材料具有典型的**宏-介-微观多尺度结构**（图 1），各尺度下的作用机制和跨尺度间的性质关联是评价材料封堵性能、指导材料功能设计的关键。在**宏观尺度上**，需要考虑磁驱粘合材料对泄漏管道的应急封堵性能，如密封能力、磁驱响应和粘接强度等。在**介观尺度上**，研究材料磁驱运移和相变行为以及界面作用，其取决于界面之间的附着力，应力分布及微结构之间的耦合关系。在**微观尺度上**，材料的粘结性能源于分子之间复杂的聚合反应，化学键和分子间作用力决定了材料强度，同时需要考虑界面作用中存在的分子间作用关系。各尺度下的作用机制彼此之间存在复杂的内部关联，进而决定了材料的封堵性能。探明材料封堵相关性能的宏-介-微观跨尺度协同**调控机理**，一方面用于指导目标导向的**功能型材料合成**，另一方面为揭示材料的**封堵作用机制**奠定理论基础，是**亟待解决的关键科学问题之一**。

合成的磁驱粘合材料在应用条件下的响应行为是揭示其封堵机理的关键，材料在封堵过程中同时受泄漏流场和磁场作用（图 1），其对于变化流场及可控磁场环境的动态响应是一个复杂的过程。在**泄漏流场作用下**，磁驱粘合材料受冲击、剥离以及剪切等多重载荷，其界面附着性能和屈服特性会受到显著影响。

在**磁场**作用下，磁驱粘合材料的弹塑性和趋向性会随磁场变化做出迅速反应。材料在**多物理场**同时作用下，其响应行为是材料特性在各场驱使下的协同与拮抗变化多维叠加的结果。因此，探究磁驱粘合材料对泄漏流场和磁场共同作用下的**力-磁耦合响应行为**，一方面结合材料功能特性揭示材料**带压封堵**作用机制，另一方面指导基于磁驱粘合材料的管道泄漏**应急封堵方法**设计，是亟待解决的**关键科学问题**之一。

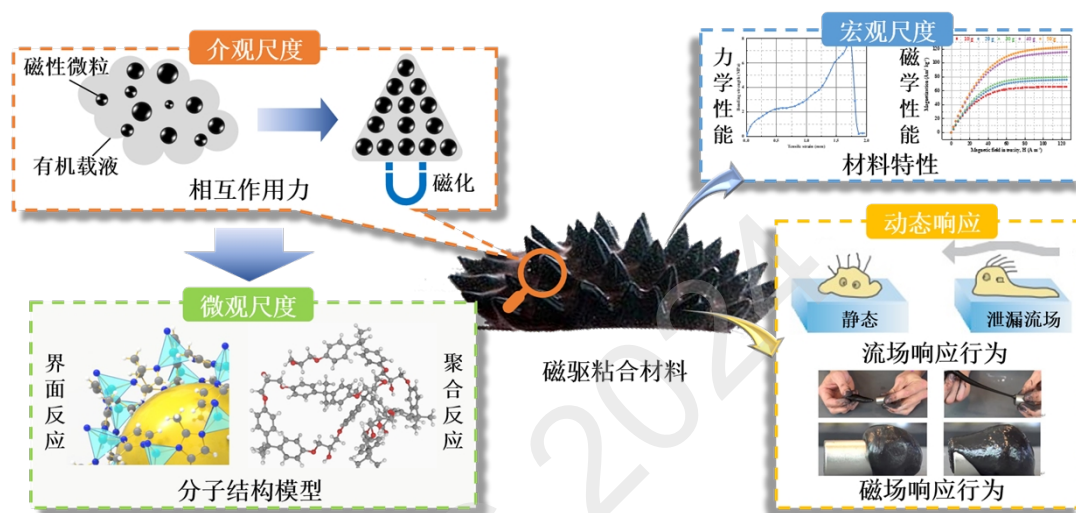


图 1 磁驱粘合材料泄漏封堵关键科学问题示意图

依照《“十四五”国家应急体系规划》中对管网系统事故应急要求的重要指示，针对上述挑战难题，本项目面向工业和公共安全对于泄漏应急处置技术的迫切需求，将磁驱粘合材料引入管道泄漏修复领域。结合数值模拟和实验分析，探究磁驱粘合材料在宏观层面上的应力应变和电磁特性等与泄漏封堵密切相关的材料效能，介观层面的力学作用机制和界面结构特征，微观层面的反应演化过程和分子构造特性，明确各尺度之间的内在关联，揭示材料性能的宏-介-微观跨尺度调控机理，指导材料合成和性能优化，合成面向管道泄漏应急封堵的磁驱粘合材料。研究磁驱粘合材料在泄漏封堵过程中对泄漏流场和磁场的力-磁耦合响应动态行为，探明材料应急封堵作用机制，指导泄漏应急封堵应用研究。项目实施具有两方面重要意义：

1) 全面揭示面向管道泄漏应急封堵的磁驱粘合材料性能跨尺度协同调控机理和带压封堵作用机制，具有重要的科学价值。

2) 拓展磁驱粘合材料在管道泄漏应急封堵领域的应用，拓宽管道修复技术的研究思路；聚焦于储运安全技术的迫切需求，具有重要的工程指导意义。

## 1.2 国内外研究现状及发展趋势



应急带压封堵的限制因素主要包括输送压力，介质燃爆特性，作业环境条件等。材料修复方法可以避免动火作业，结构适应性强，在克服封堵限制方面表现出众，近年来逐渐引起关注。已有学者研究了基于凝胶、树脂、纤维等材料的管道泄漏应急封堵方法，但存在封堵的耐压程度较低，带压实施困难等问题<sup>[4, 6]</sup>，难以兼顾封堵载荷和结构适应。磁驱粘合材料可以利用磁场控制其运移和固化，摆脱了外力约束，克服结构和应力问题。国内外学者针对磁驱粘合材料性能调控、功能设计以及不同物理场中的响应行为开展了实验和模拟研究。

### 1.2.1 磁驱粘合材料性能调控机理研究进展

#### 1) 磁驱粘合材料的**粘结性能**研究：

磁驱粘合材料的粘接强度由材料本身的固化强度和界面作用之间的复杂关系决定。从**材料特性**方面，Sharma 等人<sup>[7]</sup>总结了各类常见胶粘剂在复合材料粘结方面的应用效果，环氧树脂、丙烯酸酯和聚氨酯被认为是当前粘接效果最佳的固化材料。Demir 等人<sup>[8]</sup>研究表明，刚性填料本身的力学性质可以提高粘合材料的固化强度，但填料的团聚效果对粘结性能有负面影响。在**分子相互作用**研究方面，硅烷偶联剂通过与磁性填料表面化学键合实现对无机材料的表面有机化改性，进而参与粘合材料反应，提高界面粘接强度<sup>[9-11]</sup>。在**界面微结构和应力作用**方面，Li 等人<sup>[12]</sup>认为磁性填料对载液的牵引效果可以提高磁驱粘合材料对复杂结构的适应性和粘接性。Wu 等人<sup>[13]</sup>通过数值计算，揭示了粘附力、压头锥角、电势和磁势对粘附接触行为的影响。

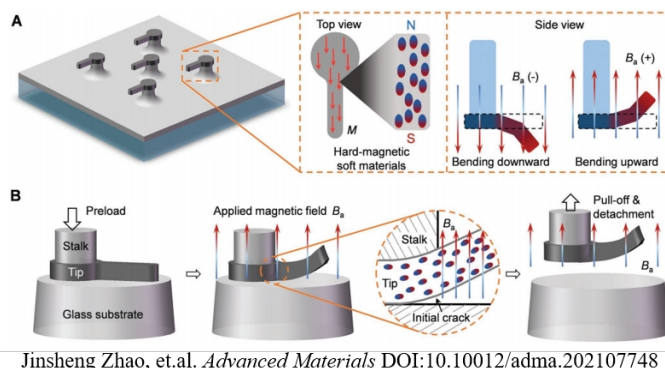
#### 2) 磁驱粘合材料**磁控性能**作用机理研究：

磁驱粘合材料以其独特的磁控响应性在近年来备受关注。Wang 等人<sup>[14]</sup>研究了磁场对磁驱弹性体**储能模量**的控制效应，并设计出仿生吸盘粘合材料。Zhao 等人<sup>[15]</sup>设计的磁驱粘合材料通过控制粘合面**裂纹生长**实现粘合-脱附可控转变（图 2）。Ji 等人<sup>[16]</sup>对磁性填料微粒表面进行烷基化改性，通过提高磁性填料对载液的**牵引作用**实现磁控流变性能优化。Sha 等人<sup>[17]</sup>利用**磁滞热效应**实现粘合材料的热固化，并研究了磁驱粘合材料的粘接强度影响因素。Salimi 等人<sup>[18]</sup>揭示了磁滞热效应通过影响聚氨酯氢键作用实现磁驱粘合材料的磁控脱附。

以上研究强调目标导向的磁驱粘合材料功能设计，对材料性能影响因素进行了微观或介观单层面的机理研究，提供了理论支撑，但还未系统研究材料特性宏-介-微观各尺度之间的相互作用。合成面向泄漏应急封堵的新型磁驱粘合材料，需要设计材料同时满足力学性能优异，粘附脱附可控，磁场响应迅速等



多种材料性能，而性能作用机理表现在不同尺度，因此，需要研究材料效能调控的微观-介观-宏观三维跨尺度作用机理。



Jinsheng Zhao, et.al. *Advanced Materials* DOI:10.10012/adma.202107748

图 2 磁控粘附-脱附机制<sup>[14]</sup>

### 1.2.2 磁驱材料的物理场响应行为研究进展

磁驱材料在各种物理场中的响应行为是材料磁控性质的重要体现。

#### 1) 磁驱材料的**磁场响应**研究

磁驱材料独特的磁场响应特性是材料功能化设计的研究重点，不同的材料属性和磁场类型会表现出各向异性，选择趋向性等。樊玉勤，王芳芳，孙凌逸和赵慧婷等<sup>[19-22]</sup>针对磁流变胶泥和磁流变弹性体的磁控行为系统的开展了**实验探究**，揭示了磁驱材料的储能模量、损耗因子、剪切应力等属性与磁性填料粒径和含量之间的内在关联机理。Brizzi 等人<sup>[23]</sup>研究了硅酮智能材料在磁场中的粘性变化规律，分析了磁场对磁驱材料剪切变稀行为的影响。Gedik 等人<sup>[24]</sup>利用 CFD **模拟研究**了磁流体在磁场驱动下的流动行为。Fernandes 等人<sup>[25]</sup>提出了一种全解析仿真算法，用于磁流体的流变响应行为研究。Xu 等人<sup>[26]</sup>利用 COMSOL 模拟软件研究了磁场作用下磁性粒子的**横向组装行为**，解释了填料粒子之间引力和斥力关系以及磁场作用下磁性粒子链的粗化机理（图 3）。Zhao 等人<sup>[27]</sup>开展了磁驱材料的分子动力学模拟，从原子角度揭示了界面非键吸附力，润湿性和界面稳定性对于磁驱材料流变性能和沉积稳定性的影响机理。

#### 2) 磁驱材料的**多物理场耦合响应**研究

磁驱材料在多物理场下的耦合响应行为是揭示材料作用机制，指导材料应用的基础。Dong 等人<sup>[28]</sup>研究了温度影响下磁驱材料的磁场响应行为，引入石墨粒子可以提高磁驱材料的剪切屈服应力，并揭示了**温度影响**机理。赵树勋等人<sup>[29]</sup>利用**数值模拟**软件开展了磁流变弹性体的**磁-弹性耦合**模拟研究，验证了磁场对材料初始压缩应力和剪切模量的影响。段富贵等人<sup>[30]</sup>在此基础上进一步开展了**声场-磁场耦合**模拟研究，探究了材料的吸声、隔声性能。Xia 等人<sup>[31]</sup>开展了磁



流变弹性体微观**磁场-机械场耦合**模拟研究，从微观角度解释了磁控超弹性体的磁场响应行为。Hu 等人<sup>[32]</sup>进一步从多尺度进行了磁场-机械场耦合模拟研究，构建了磁驱材料磁场响应的尺度关联性（图3）。

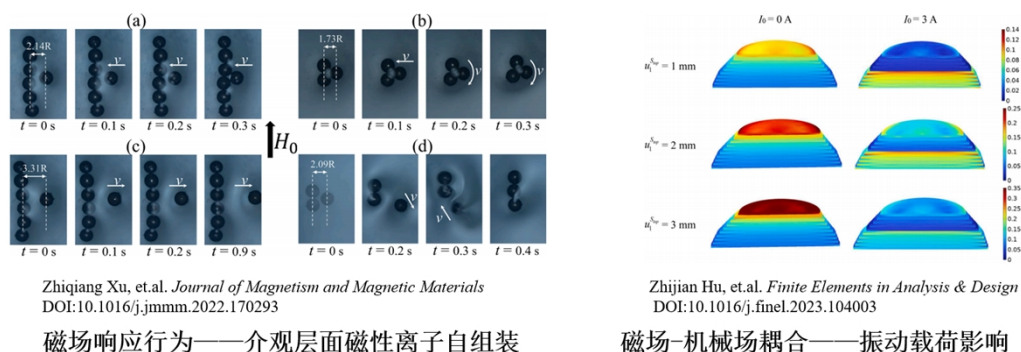


图3 磁驱材料的物理场响应机理<sup>[26, 32]</sup>

上述研究聚焦于磁驱材料响应行为的作用机制，以数值模拟为主要研究方法，对于单一磁场响应的相关研究较为深入，从微观分子、介观磁性粒子以及宏观流变行为多尺度开展。对于材料多场耦合响应的研究基于应用条件，还未对泄漏流场和磁场共同作用下的磁驱材料响应行为开展系统研究。作为管道泄漏应急封堵材料，磁驱粘合材料在封堵作业过程中主要受泄漏射流的冲击载荷作用以及可控磁场作用，探究材料在封堵过程中的力-磁耦合动态响应行为，进而揭示材料封堵机理，是指导材料应用和设计封堵方法的前提。

### 1.2.3 磁驱材料应用研究现状

磁驱材料独特的磁场响应性在机械传动、精密加工等领域得到了广泛关注。

#### 1) 磁控力学性能应用研究：

通过控制磁场可以实现磁驱材料的剪切、抗压、粘弹等力学属性的瞬间转变，被广泛应用于传动、控制等机械领域。Kim 等人<sup>[33]</sup>设计了流动模式下的阻尼器，提出了力学模型并计算验证。Aydar 等人<sup>[34]</sup>设计了流动式磁流变液阀，将电磁体与永磁体两种控制方法相结合，实现了对外输出阻尼力大小的调控。Li 等人<sup>[35]</sup>设计了一种结构紧凑、能耗低的挤压式磁流变阀，通过一系列实验测试了其作用效果。

#### 2) 磁驱流变性能应用研究：

磁驱材料的流动趋向可控性和流变可控性是通过改变磁场控制材料的运移、蠕变和应力状态而实现的。基于以上特性，磁驱材料具有极强的结构适应性，被应用于微型运输，药物释放等领域。Ji 等人<sup>[16]</sup>利用纳米磁驱材料实现牙髓的药物介导。韩佳佳等人<sup>[36]</sup>利用纳米磁驱材料流动传热控制氩在管道中的输送。



Yang 等人<sup>[37]</sup>研究了磁驱材料在真空条件下的动态密封，测试了活塞轴的运动速度和行程对材料密封性能的影响。

### 3) 粘合性能应用研究:

在磁驱粘合材料研究方面, Bica 等人<sup>[38]</sup>在磁驱材料中引入了石墨烯, 对复合材料的磁场效应进行了研究, 该复合磁驱材料可作为平面电容器。Li 等人<sup>[12]</sup>设计出用于牙齿修复的磁驱粘合材料, 通过磁场控制材料进入复杂的牙齿结构并固化修补。

上述磁驱材料在机械传动、动态密封以及修复材料方面的应用研究证实了材料自适应、承压和粘结修复功能特性具有实用前景, 但对于磁驱粘合材料在管道泄漏应急封堵方面的应用目前仍缺乏研究。通过对磁驱粘合材料性能调控机理和封堵作用机制的研究, 研发磁驱粘合材料, 解决泄漏应急处置难题, 拓宽材料应用方向。

## 1.3 研究出发点和科学问题凝练

针对我国管网大时代背景下管道泄漏事故应急处置技术匮乏的问题, 提出将磁驱粘合材料应用于管道泄漏应急封堵领域。综合国内外研究现状, 磁驱粘合材料在管道泄漏应急封堵领域缺乏研究, 将材料引入新的应用方向, 其目标导向的材料性能调控机理尚不清晰, 封堵功能化的磁驱粘合材料的合成和性能设计缺乏理论指导, 材料在带压封堵过程中的响应行为尚不明确, 封堵机理还未探明。结合储运行业对管道泄漏应急处置技术的迫切需求以及当前研究空缺, 本项目凝练出如下两个亟待研究的科学问题:

1) **机理揭示**——磁驱粘合材料功能的宏-介-微观协同调控机理。

2) **响应分析**——磁驱粘合材料在流场和磁场作用下的力-磁耦合动态响应行为机制。

## 主要参考文献

- [1] 2022年全国地下管线事故统计分析报告[R].中国城市规划协会地下管线专业委员会, 2023.
- [2] 李玉忠, 谢楠, 武国栋, 等. 长输管道应急抢修技术现状和发展趋势探讨[J]. 石油工程建设, 2021, 47(03): 1-5.
- [3] Wang A, Liu X, Yue Q, et al. Tensile properties hybrid effect of unidirectional flax/carbon fiber hybrid reinforced polymer composites[J]. Journal of materials research



- and technology, 2023, 24: 1373-1389.
- [4] Chang M, Wang J, Liu X, et al. A semitransparent and tough wood-based adhesive gels with excellent adhesion both in air and underwater for emergency pipeline repair[J]. Chemical Engineering Journal, 2023, 468: 143601.
- [5] **Ma Y**, Liu Z, Li M, Zhao Y, Cai P, Preparation and properties of a magnetorheological material used for pipeline and pressure vessel damage repair[J]. Composite Structures, 2021, 276: 114566.
- [6] Chen G, Fu W, Liu Z, et al. Self-sealing polyurethane coatings containing high oil-absorption resin for storage facility and fuel pipelines[J]. Progress in Organic Coatings, 2022, 166: 106789.
- [7] Sharma R, Gupta A. A critical review on influencing parameters for adhesively bonded joints in composite laminates for structural applications[J]. Materials Today: Proceedings, 2023.
- [8] Demir T, Yuksel Y, Celik B. Investigation of mechanical properties of aluminum – glass fiber-reinforced polyester composite joints bonded with structural epoxy adhesives reinforced with silicon dioxide and graphene oxide particles[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2023, 126: 103481.
- [9] **Ma Y**, Liu Z, Qian X, Zhao Y, Li M, Li P. Effect of Excessive Iodonium Salts on the Properties of Radical-Induced Cationic Frontal Polymerization (RICFP) of Epoxy Resin[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2023, 62(12): 4896-4904
- [10] Naguib H, Ahmed M, Abo-Shanab Z. Silane coupling agent for enhanced epoxy-iron oxide nanocomposite[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2018, 7(1): 21-28.
- [11] **Ma Y**, Liu Z, Li P, Li M, Zhao Y, Fabrication of epoxy resin/acrylate IPNs magnetorheological material with oil-surface bonding for damage repair of long-distance oil pipelines[J]. Cement and Concrete Composites, 2022, 131: 104572.
- [12] Li Y, Hu X, Xia Y, et al. Novel magnetic nanoparticle-containing adhesive with greater dentin bond strength and antibacterial and remineralizing capabilities[J]. Dental Materials, 2018, 34(9): 1310-1322.
- [13] Wu F, Li C. Theory of adhesive contact on multi-ferroic composite materials: Conical indenter[J]. International Journal of Solids and Structures, 2021, 233: 111217.



- [14] Wang S, Luo H, Linghu C, et al. Elastic Energy Storage Enabled Magnetically Actuated, Octopus-Inspired Smart Adhesive[J]. *Advanced functional materials*, 2021, 31(9): 2009217.
- [15] Zhao J, Li X, Tan Y, et al. Smart Adhesives via Magnetic Actuation[J]. *Adv Mater*, 2022, 34(8): e2107748.
- [16] Ji Y, Choi S, Sultan A, et al. Nanomagnetic-mediated drug delivery for the treatment of dental disease[J]. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 2018, 14(3): 919-927.
- [17] Sha Z, Cheng X, Charles A, et al. In-situ aligning magnetic nanoparticles in thermoplastic adhesives for contactless rapid joining of composite structures[J]. *Composite Structures*, 2023, 321: 117304.
- [18] Salimi S, Babra T, Dines G, et al. Composite polyurethane adhesives that debond-on-demand by hysteresis heating in an oscillating magnetic field[J]. *European Polymer Journal*, 2019, 121: 109264.
- [19] 樊玉勤, 廖昌荣, 谢磊. 磁流变弹性体的电容蠕变与恢复特性: 第十四届全国流变学学术会议, 中国湖南湘潭, 2018[C].
- [20] 王芳芳, 廖昌荣, 周治江, 等. 磁流变胶泥材料的磁控力学行为实验研究[J]. *功能材料*, 2014, 45(23): 23095-23100.
- [21] 孙凌逸, 廖昌荣, 王芳芳, 等. 磁流变胶泥磁致流变学行为微观动力学模型研究[J]. *功能材料*, 2016, 47(10): 10070-10075.
- [22] 赵慧婷, 廖昌荣, 章鹏, 等. 硬磁颗粒填充与充磁对磁敏弹性体磁控力学行为的影响[J]. *材料研究学报*, 2016, 30(06): 457-464.
- [23] Brizzi S, Cavozi C, Storti F. Smart materials for experimental tectonics: Viscous behavior of magnetorheological silicones[J]. *Tectonophysics*, 2023: 230038.
- [24] Gedik E, Kurt H, Recebli Z, et al. Two-dimensional CFD simulation of magnetorheological fluid between two fixed parallel plates applied external magnetic field[J]. *Computers & Fluids*, 2012, 63: 128-134.
- [25] Fernandes C, Faroughi S. Particle-level simulation of magnetorheological fluids: A fully-resolved solver[J]. *International Journal of Multiphase Flow*, 2023, 169: 104604.
- [26] Xu Z, Tang Z, Chen F, et al. Study of lateral assembly of magnetic particles in magnetorheological fluids under magnetic fields[J]. *Journal of Magnetism and*



- Magnetic Materials, 2023, 566: 170293.
- [27] Zhao P, Li X, Tong Y, et al. Effect of the interface between magnetic particles and carrier liquids on magnetorheological properties and sedimentation of magnetorheological fluids: A molecular dynamics simulation and experimental insights[J]. Journal of Molecular Liquids, 2021, 342: 117377.
- [28] Dong J, Ye X, Lv Z, et al. Temperature effects and a prediction method of field-dependent yield stress in graphite magnetorheological grease[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2023, 673: 131850.
- [29] 赵树勋, 游世辉, 钱子菡. 磁流变弹性体磁致力学性能的数值模拟研究[J]. 湖南工程学院学报(自然科学版), 2016, 26(04): 84-89.
- [30] 段富贵, 游世辉, 杨罡星, 等. 磁流变橡胶材料隔声特性的数值模拟[J]. 湖南工程学院学报(自然科学版), 2017, 27(04): 67-70.
- [31] Xia L, Hu Z, Sun L. Multiscale numerical modeling of magneto-hyperelasticity of magnetorheological elastomeric composites[J]. Composites Science and Technology, 2022, 224: 109443.
- [32] Hu Z, Xia L, Sun L. Multiscale magneto-mechanical coupling of magnetorheological elastomer isolators[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2023, 224: 104003.
- [33] Kim K, Chen Z, Yu D, et al. Design and experiments of a novel magneto-rheological damper featuring bifold flow mode[J]. Smart Materials and Structures, 2016, 25(7): 75004.
- [34] Aydar G, Wang X, Gordaninejad F. A novel two-way-controllable magneto-rheological fluid damper[J]. Smart Materials and Structures, 2010, 19(6): 65024.
- [35] Li Z, Zhang X, Guo K, et al. A novel squeeze mode based magnetorheological valve: design, test and evaluation[J]. Smart Materials and Structures, 2016, 25(12): 127003.
- [36] 韩佳佳, 汪卫华, 浦文婧, 等. 矩形管道载氙热磁流体输运特性的数值模拟研究[J]. 核聚变与等离子体物理, 2023, 43(02): 161-168.
- [37] Yang X, Zhu X, Lei Y, et al. Experimental study of the magnetic fluid reciprocating seal in vacuum environment[J]. Vacuum, 2024, 221: 112924.
- [38] Bica I, Anitas E, Chirigiu L. Magnetic field intensity effect on plane capacitors based on hybrid magnetorheological elastomers with graphene nanoparticles[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2017, 56: 407-412.



## 2. 项目的研究内容、研究目标，以及拟解决的关键科学问题（此部分为重点阐述内容）；

### 2.1 研究内容

本项目聚焦于管道泄漏应急处置技术的迫切工程需求，以目标导向的场响应磁驱粘合材料为研究对象，通过对材料分子结构特征，界面能量传递，反应动力学等方面研究，探明材料性能调控机理，合成用于管道泄漏应急封堵的新型磁驱粘合材料。研究材料在流场和磁场共同作用下的响应行为，探究底层科学原理，揭示材料封堵作用机制。提出基于磁驱粘合材料的管道泄漏应急封堵方法，验证研究机理，指导材料应用。具体研究内容如下：

#### （1）可控磁驱粘合材料的合成及其性能跨尺度协同调控机理

- 以封堵材料功能需求为目标，通过表面改性，接枝共聚等化学合成方法制备可控磁驱粘合材料，使材料具备磁控流变性，结构自适应，高粘接强度，条件诱导快速固化等智能材料性能。
- 基于材料微观结构与性能表征，采用平衡态与非平衡态的分子动力学模拟，探明材料的反应动力学演化规律，界面作用机制，构建多维关联模型，揭示材料性能跨尺度协同调控机理。
- 依据调控机理调整材料分子结构，复合构造，反应进程等，优化材料性能，强化封堵属性。开展等效仿真实验测试材料应急封堵相关效能，验证研究机理。

#### （2）泄漏流场和可变磁场作用下磁驱粘合材料的力-磁耦合动态响应行为

- 分析泄漏流场对材料应力作用和材料应变响应行为，建立力学等效模型，引入可变磁场参数，探究材料抗拉、抗剪、抗剥离等特性在磁场和应力场作用下的协同或拮抗变化。构建基于多维属性叠加的材料响应行为模型，探究力、磁共同作用下材料的结构形变，力学、磁学参数特征。
- 基于磁驱粘合材料的力学、磁学性能，构建典型泄漏封堵物理模型，建立包括控制方程组，麦克斯韦方程组，材料本构模型等在内的泄漏流场应力应变数学模型。引入泄漏流场条件和可控磁场条件，开展流场、磁场作用下的有限元数值仿真模拟，建立流-固二相多场耦合数值仿真分析方法，揭示磁驱粘合材料在泄漏流场中的力-磁耦合动态响应机理。
- 结合材料性能内在关联和多场作用下的响应行为特征，揭示磁驱粘合材料封堵机理。



### (3) 基于多目标优化的可控磁驱粘合材料应急带压封堵方法

- 基于磁驱粘合材料磁场响应行为特征，探究磁场源结构、磁场、材质等多维因素对材料带压封堵的影响及作用机理，明确之间的拮抗和协同效应，设计功能化磁场源物理模型。提出基于智能材料和磁控装置耦合的协同封堵方法。
- 开展磁驱粘合材料应急封堵仿真实验，探究介质、压力等泄漏工况对封堵效能的影响，揭示封堵失效模式和作用机制，明确封堵压力阈值和适用条件，验证仿真模拟结论和封堵机理。
- 建立基于泄漏工况、材料性能和装置结构的多目标需求模型，指导封堵方法优化设计。结合神经网络模型和监督学习算法，构建基于机器学习泄漏条件与封堵参数关联。

## 2.2 研究目标

本项目将可控磁驱粘合材料应用于管道泄漏应急封堵领域，揭示材料功能调控机理和封堵作用机制，合成目标导向的新型磁驱粘合材料，提出泄漏应急封堵新方法，主要研究目标包括：

(1) 揭示材料性能的微观分子模型-介观界面作用-宏观磁控封堵效能协同调控机理，形成以泄漏应急封堵为目标导向的可控磁驱粘合材料功能设计方法。

(2) 探究磁驱粘合材料力-磁耦合动态响应行为和力学演化规律，明确材料应急带压封堵作用机制。

(3) 合成新型可控磁驱粘合材料，设计配套封堵磁场源物理模型，形成主要技术指标体系，提出基于磁驱粘合材料的管道泄漏应急带压封堵新方法。

## 2.3 拟解决的关键科学问题

研究依照国家能源战略重大工程领域安全建设的重要指示，面向泄漏应急处置技术的迫切需求，提出将可控磁驱粘合材料引入管道泄漏应急封堵领域。对于新型封堵材料的研发应用，材料的性能调控机理和封堵响应机制是需要先行探明的底层科学问题。针对磁驱粘合材料的性能跨尺度调控机理及其在泄漏流场和可变磁场共同作用下的力-磁耦合动态响应行为研究空缺和挑战，本项目拟采用理论建模，数值仿真和实验验证相结合的方式开展研究，拟解决如下关键科学问题：

### (1) 可控磁驱粘合材料宏-介-微观跨尺度协同调控机理

将可控磁驱粘合材料引入管道泄漏应急封堵领域，实现功能化的磁驱粘合





材料合成及封堵效能优化，其底层科学问题是材料性能的调控机理。磁驱粘合材料具有典型的三维尺度结构，在微观尺度下分子结构和反应演化，介观尺度下微结构和界面作用等决定了材料的宏观性能，同时微、介观层面也存在复杂的作用关系。因此，研究以泄漏应急封堵为目标导向的磁驱粘合材料，揭示其微观分子模型-介观界面作用-宏观磁控封堵效能之间的协同调控机理，是本项目拟解决的关键科学问题之一。

## **(2) 泄漏流场和可变磁场作用下磁驱粘合材料的力-磁耦合动态响应**

明确磁驱粘合材料封堵作用机制，探明材料应急带压封堵效能，对探究材料在高速流场和可控磁场共同作用下的响应行为提出了挑战。基于磁驱粘合材料的本征性质，在泄漏射流的冲击、剪切、剥离等复杂应力作用下，材料表现出非牛顿流体的响应特征；另一方面，在磁场作用下，材料可能表现出流变、相变、抗压、抗剪切等磁场响应表现，两种物理场的拮抗作用下材料各属性多维叠加的动态响应值得深究。同时，材料的物理场响应行为也是重要的宏观性能体现。探明材料在流场和磁场共同作用下的耦合响应是指导材料调控优化，揭示材料封堵机理，构建应急封堵方法的必要条件。因此，揭示可控磁驱粘合材料的力-磁耦合动态响应规律，是本项目拟解决的关键科学问题之一。

## **3. 拟采取的研究方案及可行性分析（包括研究方法、技术路线、实验手段、关键技术等说明）；**

### **3.1 拟采取的研究方案**

#### **3.1.1 研究技术路线**

本项目的研究技术路线如图 4 所示，基于材料-机理-指标-方法一体化研究思路，采用材料合成、性能表征、理论建模、数值仿真和实验验证等方法，开展可控磁驱粘合材料的功能设计和机理探究。构建磁驱粘合材料功能多维关联模型，揭示材料性能宏-介-微观跨尺度调控机理，为材料应急封堵能效和机理研究提供基础支撑。建立流-固二相多场耦合数值仿真分析方法，探明材料在泄漏流场中的力-磁耦合动态响应特征，明确材料封堵作用机制，结合材料性能调控机理优化材料属性，为材料的带压封堵测试和方法设计提供理论依据。开展全尺寸管道泄漏仿真封堵试验，验证研究理论，明确关键参数，创建基于机器学习的泄漏工况-技术指标关联模型，提出基于可控磁驱粘合材料的管道泄漏应急带压封堵新方法。

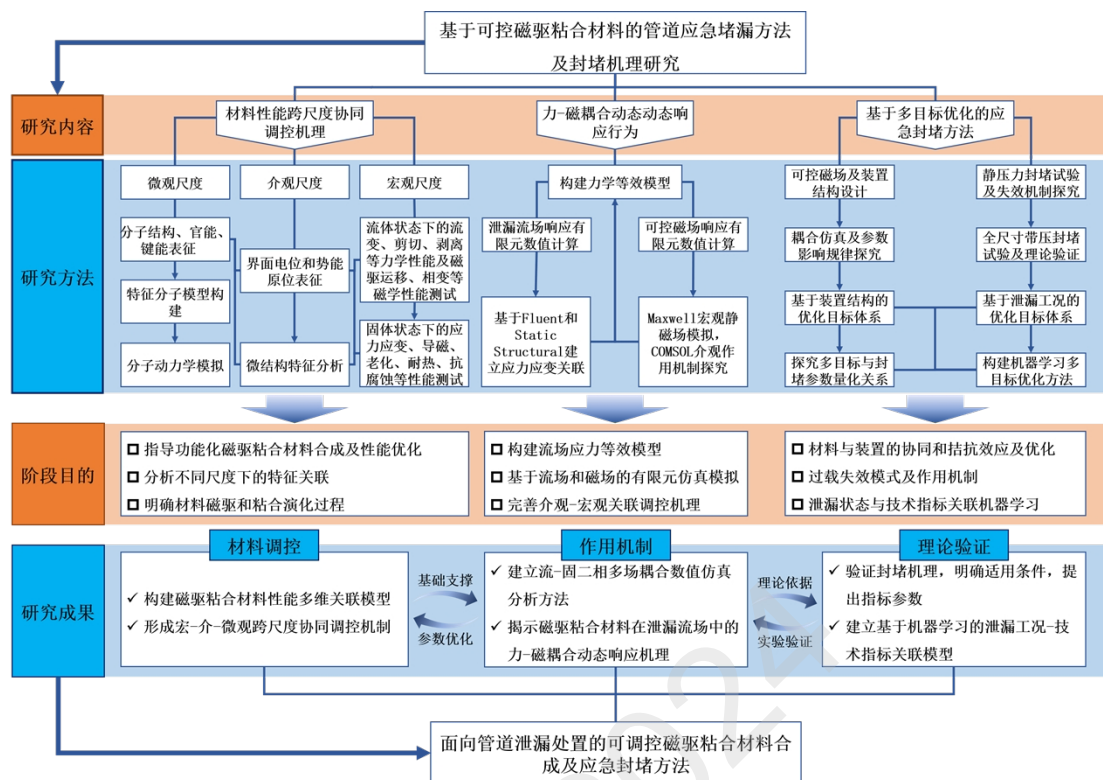


图 4 总体技术路线图

### 3.1.2 研究方法

#### (1) 可控磁驱粘合材料的合成及其性能跨尺度协同调控机理探究

##### 1) 可控磁驱粘合材料合成

根据管道泄漏事故特点和应急带压封堵作业难点，封堵材料需要具备的主要性能包括高粘接强度，结构自适应，磁控流变性，承压抗剥离，条件诱导快速固化等。以功能需求为材料性能设计的基本目标，选取含有环氧基团、丙烯酸酯基团、异氰酸酯基团等活性基团的化合物，以及纳米级、微米级磁性粉体，基于分子改性、表面改性等理论基础，制备可控磁驱复合材料。测试材料固化行为以及诱导条件敏感性，形成诱导固化方法。

##### 2) 分子结构模型构建及反应动力学

磁驱粘合材料的微观分子结构和反应演化过程是揭示材料功能机理，构建效能调控机制的基础。采用 FTIR、XRD、XPS 等分子结构表征方法，分析分子官能、键能特点，探究材料改性、表面修饰、粘接和固化反应进程，揭示反应机理，构建材料微观分子结构模型。开展分子动力学模拟研究，探究材料改性和固化反应过程中的动力学和热力学微观演化机制，以及有机分子在无机磁性填料上的界面吸附扩散行为。为材料微观-宏观、微观-介观特性关联模型的建立及性能跨尺度协同调控机理提供基础支撑。



### 3) 界面相互作用及过载失效机制

界面是应力等其他信息传递的桥梁，磁驱粘合材料宏观性能实质上是分散相和连续相，材料和靶向面之间的界面相互作用。利用原位 NMR 和表面电位测定分析磁驱粘合材料有机连续相和无机分散相的界面电位分布和势能变化，揭示材料的**磁驱可控机理**和**过载失效机制**。利用扫描电子显微镜和能谱分析构建界面结构模型，探究裂纹发育形式、断裂失效类型与微观分子结构和反应动力学之间的**内在关联**，明确有机-无机**界面信息传递形式**，指导材料界面共价键修饰。基于界面作用和失效机制研究结论，构建介观-宏观特性关联理论基础。

### 4) 材料性能优化及跨尺度调控关联

材料的宏观性能是其封堵效能的基本体现。测试磁驱粘合材料的磁学特性及其在可变磁场下的原位流变特性和力学特性，构建材料储能模量和损耗模量与磁场及材料组分之间的**量化关系**，建立材料的力-磁关联基础，形成介观界面作用与宏观磁驱性能的**调控模型**。测试可控磁驱粘合材料在不同固化条件下的本征力学行为和对金属材质的粘结强度，揭示微观分子结构与宏观力学性能**内在关联机理**，明确原料组分对材料性能的影响关系，指导材料性能优化，形成微观和宏观、介观和宏观之间的调控关联模型。为后续材料力-磁耦合响应研究构建材料参数基础。

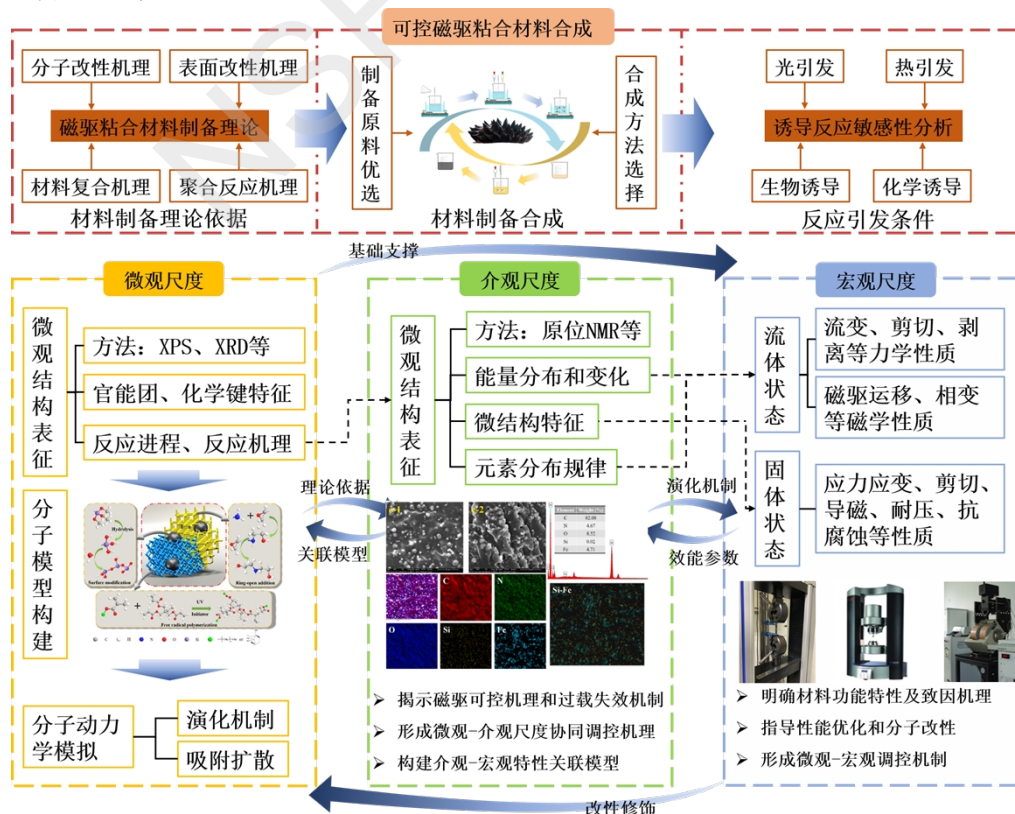


图 5 研究内容 (1) 方案框图

结合微观分子模型和反应演化，介观界面作用和微结构特征，宏观材料磁驱动和力学性能的研究结论，构建可控磁驱粘合材料性能多维关联模型，揭示宏观-介观-微观跨尺度协同调控机制。

## (2) 泄漏流场和可变磁场作用下磁驱粘合材料的力-磁耦合动态响应

### 1) 构建力学等效模型

磁驱粘合材料在泄漏封堵过程中，由于泄漏流场变化和材料本身响应形变，其受力过程复杂多变。结合研究内容(1)中对材料性能和界面作用的研究结论，对磁驱粘合材料在泄漏流场中的受力状态进行理论分析。开展材料在泄漏流场作用下的响应行为仿真实验，利用高速摄像记录材料形变过程并进行力学解析。推演出等效力学行为并开展实验测试，分析数据结果，修正解析过程，构建磁驱粘合材料在泄漏流场作用下的**力学等效模型**。开展材料在磁场作用下的界面作用力学理论分析，建立介观尺度力学模型，为数值仿真提供理论基础。

以介观尺度磁场作用分析为例，力学模型构建基础包含磁力模型、流体模型、接触模型和运动模型。磁性粒子在有机载液中的受力分析如图6所示，用 $P_i$ 表示粒子域， $\Omega$ 表示粘合材料流体域，视为不可压缩流体，匀强磁场 $H_0$ 延 $x$ 方向分布。下角标 $i$ 表示第 $i$ 个粒子， $F_{mi}$ 、 $F_{hi}$ 、 $T_{mi}$ 和 $T_{hi}$ 分别表示第 $i$ 个粒子的电磁作用力，流体动力，电磁作用力矩和流体动力学力矩。

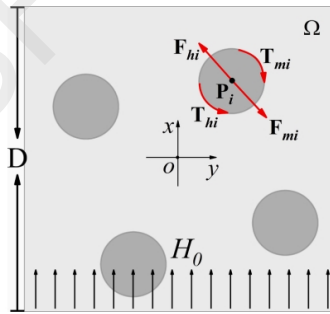


图6 磁驱粘合材料介观磁性粒子力学模型示意图

### 磁力模型

电磁分析问题涉及在特定边界条件下求解一组麦克斯韦方程组。在没有自由电流的情况下，磁场由静态麦克斯韦方程控制。磁力作用于磁性颗粒表面，其内部均匀区域趋于零。第 $i$ 个磁粒子的电磁相互作用力 $F_{mi}$ 和电磁作用力矩 $T_{mi}$ 表示为：

$$F_{mi} = \int (\tau_{mi} \cdot n) dS_i \quad (1)$$

$$T_{mi} = \int [\tau_{mi} \times (X_{si} - X_{pi}) \cdot n] dS_i \quad (2)$$

式中， $X_{si} = (x_{si}, y_{si})$ 、 $X_{pi} = (x_{pi}, y_{pi})$ 和 $dS_i$ 分别表示第 $i$ 个磁粒子表面、中心的



位置矢量以及表面积分， $n$  为粒子边界的外法向量， $\tau_{mi}$  为麦克斯韦张量。

### 流体模型

流体对磁性粒子产生阻力并影响运动行为；因此，为了精确求解磁性粒子的运动，通常将纳维-斯托克斯方程与上述麦克斯韦方程组联立。 $\tau_{hi}$  为流体应力张量。因此，第  $i$  个磁颗粒的流体动力  $F_{hi}$  和流体动力学力矩  $T_{hi}$  表示为：

$$F_{hi} = \int (\tau_{hi} \cdot n) dS_i \quad (3)$$

$$T_{hi} = \int [\tau_{hi} \times (X_{si} - X_{pi}) \cdot n] dS_i \quad (4)$$

### 接触模型

磁性颗粒的接触变形较小，可以忽略不计，当磁性颗粒接触时，采用 Glowinski 的碰撞方法：

$$F_{ij} = \begin{cases} L_{ij} > R_i + R_j + \rho \\ \left(\frac{1}{\varepsilon_p}\right)(X_{pi} - X_{pj})(R_i + R_j + \rho - L_{ij})^2 & L_{ij} \leq R_i + R_j + \rho \end{cases} \quad (6)$$

其中， $F_{ij}$ 、 $L_{ij} = |X_{pi} - X_{pj}|$ 、 $R_i$  和  $R_j$  分别为第  $i$  个与第  $j$  个磁粒子之间的接触力，几何中心间距以及粒子半径， $\rho$  为力的范围， $\varepsilon_p$  是一个很小的正刚度参数。

### 运动模型

第  $i$  个磁性粒子的运动轨迹可表示为：

$$X_{pi}(t) = X_{pi}(o) + \int_o^t v_{pi}(t) dt \quad (7)$$

$$\alpha_i(t) = \alpha_i(o) + \int_o^t \omega_{pi}(t) dt \quad (8)$$

式中  $X_{pi}(t) = (x_{pi}, y_{pi})$  表示第  $i$  个磁粒子在时间步长为  $t$  时的中心位置， $\alpha_i(t)$  表示第  $i$  个磁粒子在时间步长为  $t$  时的旋转角度。

### 2) 流场作用下材料响应行为有限元仿真

基于研究内容（1）中合成的磁驱粘合材料宏观力学性能参数，借助 Solidworks、Gambit、Meshing 等软件，建立流场作用下磁驱粘合材料受力研究的几何模型并进行个性化网格划分。利用 Fluent 流体动力学仿真模拟软件开展泄漏流场对磁驱粘合材料的瞬态作用效果研究，在 Workbench 中创建 Fluent-Static Structural 关联，利用 Static Structural 组件分析应力分布和材料形变关联。实现泄漏流场作用下的磁驱粘合材料应力应变演化过程可视化，修正力学等效模型，揭示材料在泄漏流场作用下的响应行为演化机理，为材料在流场作用下的力-磁耦合响应研究奠定基础。





### 3) 磁场作用下材料响应行为模拟

基于合成的磁驱粘合材料电磁学性能参数、麦克斯韦方程和虚功力理论模型，利用 Maxwell 电磁仿真模拟软件，对流场响应物理模型开展静磁场作用下材料的磁感应特性和受力的宏观尺度研究。利用 COMSOL Multiphysics 仿真模拟软件，开展基于有限元法和拉格朗日-欧拉参照系法的粒子-流体-磁场耦合数值模拟，探究介观尺度磁场作用下磁驱粘合材料中分散磁性粒子的自组装行为和有机-无机界面相互作用。结合研究内容(1)中磁驱粘合材料界面作用实验探究，实现材料介观尺度能量关联的可视化。基于磁滞热效应和反应进程温度响应机理，利用 Maxwell 和 Mechanical 双向耦合仿真和分子动力学模拟，揭示材料磁控粘结-脱附作用机制，指导磁场源和封堵方法设计。

### 4) 多物理场作用下材料的力-磁耦合响应机制

基于磁场模拟研究结论编写磁场分布代码，利用 Fluent MHD 模型构建 Fluent-Maxwell 耦合模拟，开展磁驱粘合材料在磁场和泄漏流场联合作用下的数值仿真。基于建立的流固耦合关联，统筹流体和固体二相，以及磁场、流场、重力场和结构场，建立基于 Maxwell-Fluent-Static Structural 的二相多场耦合数值计算方法，结合介观尺度仿真研究和等效物理模型，揭示泄漏流场和可变磁场作用下，磁驱粘合材料的力-磁耦合动态响应行为和可控磁驱带压封堵机制。

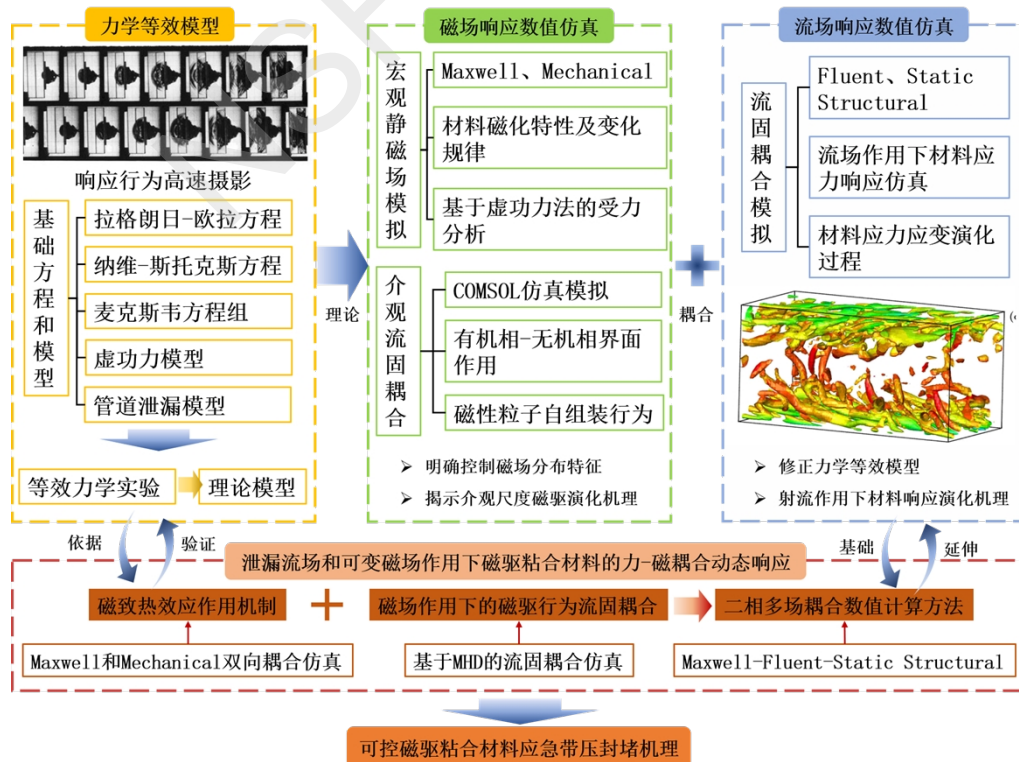


图 7 研究内容(2) 方案框图



### (3) 基于多目标优化的可控磁驱粘合材料应急带压封堵方法

#### 1) 磁驱粘合材料与磁场源装置的协同效应

磁驱粘合材料的动态封堵依赖于磁场调控，因此在明确材料性能调控和封堵机理后，需要进一步研究磁场源对封堵效能的影响，以明确配套装置功能目标，指导磁场源装置功能和结构设计。基于磁驱粘合材料的磁控机理和力-磁耦合动态响应行为，明确磁驱粘合材料泄漏封堵的磁场分布和磁滞热效应需求。提出内封堵、外封堵、双向封堵等方案，利用 Solidworks、Rhino 等建模软件，构建相应方案磁场源装置几何模型。采用研究内容（2）中建立的 Maxwell-Fluent-Static Structural 耦合仿真方法，研究磁驱粘合材料和磁场源装置联合封堵过程中的磁场分布、强度，装置结构、材质等因素对封堵响应速率、封堵强度、磁热效应等关键**参数影响规律**，揭示封堵过程中磁场源装置特征对磁驱粘合材料的**协同和拮抗效应**。通过结构、磁场、封堵方式等方面优化降低拮抗作用，建立磁驱粘合材料和装置协同封堵**正向关联**，确定最佳封堵方式，最大化封堵效能。**提出基于结构、磁场、材质等磁场源特征目标的封堵优化设计**。

#### 2) 磁驱粘合材料带压封堵失效类型及作用机制

对于不同泄漏条件对应的目标需求，通过仿真实验测试开展研究。搭建管道泄漏模拟实验平台，加工协同封堵磁场源装置样机，分别开展气相、油相和液相介质条件下磁驱粘合材料的泄漏封堵静压实验，测试材料实际封堵效果和稳定性，验证磁驱粘合材料带压封堵机理。通过程序升压致使不同泄漏口径条件的封堵失效，采集封堵压力与材料应变关系曲线，构建泄漏介质、泄漏口径、材料应变和封堵压力之间多维关联，结合界面剥离、疲劳断裂等响应行为，揭示材料**动态失效模式和演化过程**，明确封堵压力阈值。开展全尺寸管道泄漏应急封堵仿真实验，测试封堵效果，校正力学等效模型，验证模拟结果和封堵机理研究结论。**形成基于介质、压力、口径等泄漏工况目标的封堵优化设计**。

#### 3) 基于机器学习的多目标优化算法

结合磁场源、泄漏工况特征与封堵需求的**量化关系**，形成磁驱粘合材料管道应急封堵**参数指标**。建立泄漏类型和磁驱粘合材料封堵技术指标神经网络模型，利用监督学习算法，形成基于机器学习的管道泄漏类型与磁驱粘合材料封堵方法指标**关联模型**，建立多目标优化体系，实现泄漏条件输入，封堵方式输出的人工智能算法。结合材料性能，磁场源装置设计，封堵方式和智能算法，



提出基于可控磁驱粘合材料的管道泄漏应急封堵新方法。

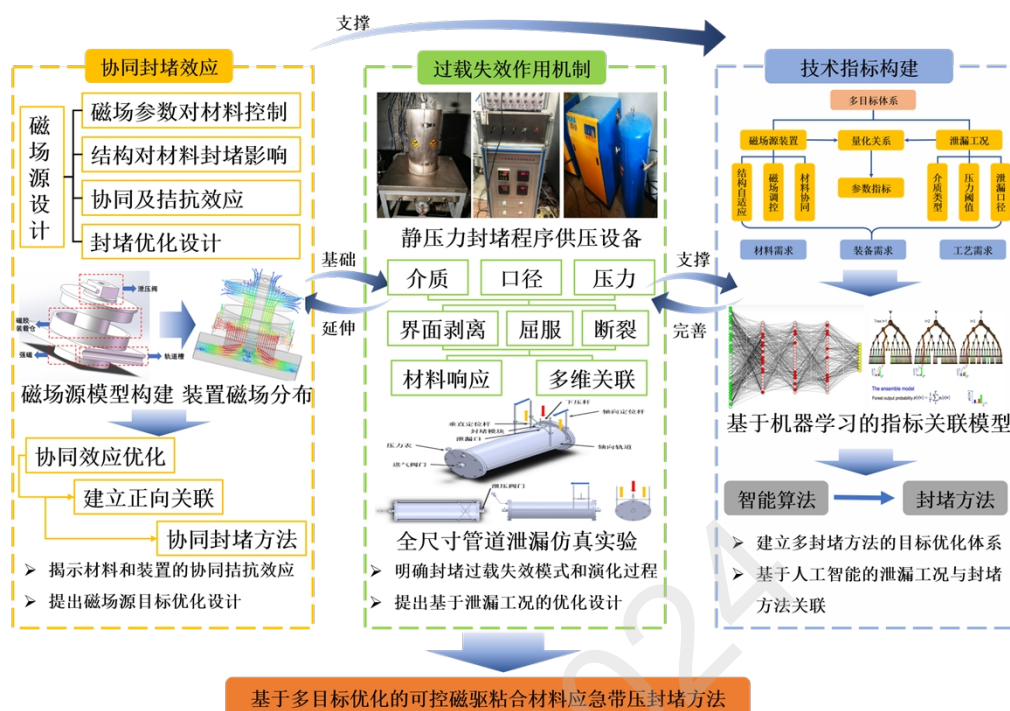


图 8 研究内容（3）方案框图

结合三部分研究内容，最终形成目标导向的，集材料性能调控、带压封堵机制、仿真实验验证、实施方法设计于一体的新型可控智能材料在管道泄漏应急处置领域的前瞻性研究。面向泄漏应急处置技术的迫切工程需求和研究瓶颈，为能源管网大时代下储运安全技术的研发提供参考和基础支撑。

### 3.2 可行性分析

#### （1）研究内容明确合理，研究方案清晰可行

本项目依照《“十四五”国家应急体系规划》中对管网事故应急要求的重要指示，面向市政燃气、工业化工和油气储运行业对管道泄漏应急处置技术的迫切工程需求。结合新型可控智能材料的功能特点，以及计算电磁学和流体力学等科学基础，综合运用公式推演、仿真模拟以及实验探究相结合的研究方法，提出将磁驱粘合材料引入管道泄漏应急封堵领域。对材料的功能调控机理、物理场响应规律以及应用可行性开展系统研究，思路清晰，内容明确。灵感源于强磁封堵和纤维增强复合材料，均在泄漏修复领域有研究和应用基础。本项目研究的磁驱粘合材料兼具强磁封堵和复合粘接材料特点，取长补短，具有实现应急封堵的理论条件。涉及的可控智能材料是近年来的研究热点，具有丰富的研究参考；立题基于前期诸多研究工作，对于材料合成、分子结构表征、性能测试、仿真模拟以及全尺寸实验设计具有较为成熟的研究基础。实验基于现有



DN350 全尺寸管道泄漏研究平台进行设计改装，增设泄漏带压封堵相关组件；数值仿真研究基于现实泄漏模型和业界公认模拟软件开发，研究技术路线清晰，方法成熟先进。

## （2）研究基础扎实

申请人在博士期间一直致力于油气管道泄漏防护和应急处置技术的相关研究，先后参与课题组“十三五”国家重点研发计划《典型危险化学品反应机理及事故防控关键技术研究及示范》，自然科学基金面上项目《多相态耦合二氧化碳 BLEVE 机理及相变演化动力学研究》，国家管网集团横向项目《外部强冲击载荷对在役天然气管道运行安全影响研究》等多项科研项目，主持北京理工大学优秀博士学位论文育苗基金项目。博士在读期间主要从事磁流变材料和管道修复材料的合成与改性，具有一定研究基础，为本项目开展材料的合成和机理探究、流体力学仿真模拟、管道泄漏应急处置研究方法设计积累了丰富的经验，以第一作者发表包括 *CEMENT CONCRETE COMP* (IF: 10.5)、*COMPOS STRUCT* (IF: 6.3) 等业界顶级期刊在内的高水平 SCI 论文 7 篇，授权国家发明专利 5 项。

## （3）研究条件良好

申请人所在单位的安全学科为江苏省重点建设学科，以石油化工安全见长，主攻石油化工过程安全、石油化工工艺与装备安全、新能源安全、重大事故防控与应急、油气储运安全等研究方向。在化工过程安全理论与技术、新型连续流微通道反应器、事故防控与应急装备、防爆材料等领域形成了鲜明特色与优势。单位具备本项目研究所需实验平台和相关设备，校内学者教授可以提供研究涉及的相关理论和技术支持。申请人与北京理工大学爆炸科学与安全防护全国重点实验室、中国安全科学生产研究院、中石化安全工程研究院等科研单位保持良好的合作关系，具备开展本项目研究所需的实验条件和数值计算条件。

综上所述，申请人研究基础扎实，研究团队经验丰富，配置合理，协作高效，研究条件良好有保障；研究方向前沿，研究内容明确，提出的技术路线及方案成熟、可行，在一定经费的支持下，可实现预期研究目标和成果转化。

## 4. 本项目的特色与创新之处；

本项目结合国家能源战略调整趋势和科学研究前沿，聚焦于管道泄漏事故频发但应急处置技术匮乏的严重问题，提出将磁驱粘合材料引入管道泄漏修复领



域，将磁力封堵和智能复合材料有机结合，区别于传统包覆式封堵方法，**解决封堵载荷和结构适应问题**。项目研究结合材料研发、机理探究和方法设计，旨在利用新型智能材料解决重大工程领域问题，实现**源头创新**，涉及材料科学、安全科学和机械工程**学科交叉**，**研究对象和思路独具特色**。

项目创新之处主要体现在以下两点：

(1) 解决磁驱粘合材料微观、介观和宏观尺度之间的内在关联问题，填补磁驱材料在泄漏流场和可变磁场作用下的动态力学响应和结构转变方面的研究，明确材料性能调控和应急封堵作用机制。项目聚焦泄漏事故应急技术难题和新型可控材料研究空缺，助力重大工程和材料科学交叉渗透。

(2) 提出基于磁驱粘合材料的应急封堵新方法。构建基于机器学习的指标-决策-工艺一体化研究体系，将新型智能材料和人工智能技术有机结合。明确包括环境因素、泄漏工况、材料特性等多因素之间的底层科学关联，为磁驱粘合材料的带压封堵提供理论依据。

## 5. 年度研究计划及预期研究结果（包括拟组织的重要学术交流活动、国际合作与交流计划等）。

### 5.1 年度研究计划

本项目计划用三年时间完成，年度研究计划如下：

#### 2025 年度研究计划及预期成果（2025.01-2025.12）

- 调研并开展可控磁驱粘合材料功能设计及制备合成；
- 分析测试材料微观和介观特性，构建分子结构模型和界面构造模型；
- 开展分子动力学仿真模拟研究，揭示反应动力学和界面势能变化规律；
- 研究界面电位、势能变化和裂纹发展规律，构建微观-介观调控关联；
- 测试材料宏观力学和电磁学特性，揭示材料性能跨尺度调控机制，指导材料新能优化。

年度研究成果预计发表学术论文 2-3 篇，申请发明专利 1 项。拟参加第 15 届中国国际管道大会（CIPC）、全国高校油气储运学术交流会等学术会议。

#### 2026 年度研究计划及预期成果（2026.01-2026.12）

- 解析封堵过程中材料的受力情况，构建力学等效模型；
- 开展泄漏流场作用下的受力-形变瞬态响应数值模拟研究；



- 开展可变磁场作用下的应力应变-磁化特性关联数值仿真模拟；
- 建立基于 Fluent-Static Structural-Maxwell 3D 的二相多场耦合数值计算方法；揭示材料在泄漏流场和可变磁场作用下的力-磁耦合响应机制；  
年度研究成果预计发表学术论文 2 篇。

#### 2027 年度研究计划及预期成果（2027.01-2027.12）

- 基于建立的二相多场耦合数值计算方法，开展管道泄漏封堵仿真模拟；
- 基于材料耦合响应行为研究结果，设计材料所需磁场源配套装置；
- 搭建泄漏修复静压测试实验平台和 DN350 全尺寸管道泄漏应急带压封堵实验平台，开展基于可控磁驱粘合材料的封堵效果和带压封堵测试；
- 开展目标导向的响应面分析和技术指标机器学习，构建指标-决策-工艺一体化人工智能技术体系。

年度研究成果预计发表学术论文 1-2 篇，申请发明专利 1-2 项，拟参加全国高校安全科学与工程学术年会等学术会议。

### 5.2 预期研究结果

（1）**理论成果：**研发面向管道泄漏应急带压封堵的可控磁驱粘合材料，构建材料性能各尺度内在关联模型，揭示材料性能的微-介-宏观跨尺度协同调控机理；建立二相多场耦合数值计算方法，揭示材料在实际封堵工况下的力-磁耦合响应机制；论证磁驱粘合材料封堵可行性，提出基于可控磁驱粘合材料的管道泄漏应急封堵新方法。

（2）**成果体现：**在国内外学术期刊及国际会议上发表论文 5-7 篇，其中 SCI 高水平论文不少于 4 篇，申请发明专利 2-3 项。

（3）**学术交流及人才培养：**参加油气储运领域和安全领域学术会议 2-4 次，培养硕士研究生 2-3 名。

## （二）研究基础与工作条件

### 1. 研究基础（与本项目相关的研究工作积累和已取得的研究工作成绩）；

申请人博士毕业于北京理工大学，曾在爆炸科学与安全防护全国重点实验室开展科学研究工作，导师为钱新明教授。多次参与国家管网研究总院、西部管道公司，中石油辽河油田等企业的横向项目，深知储运安全领域发展动态和迫切需求，具有丰富的项目研究经验。长期致力于油气储运安全、泄漏防控技





术等方面的研究,已发表学术论文 20 余篇,其中以第一作者或通讯作者发表 SCI 论文 7 篇(其中 **TOP 期刊** 论文 4 篇,中科院 3 区论文 3 篇,两篇入选 **ESI 高被引** 论文),以第二作者(导师第一)位次授权**国家发明专利** 5 项,软件著作权 2 项。博士学位论文围绕管道泄漏应急封堵材料及相关技术开展研究,获 2022 年博士研究生国家奖学金,获得北京理工大学优秀博士学位论文育苗基金资助,提名**中国职业安全健康协会优秀博士论文**。

与本项目相关的主要研究成果介绍如下:

### (1) 磁流变材料微观结构表征及分子建模

对微观层面的分子结构特点具有长期研究积累,熟练掌握 FTIR、XPS、TG-DSC 等化学键、官能团表征方法,以及 XRD、EDS 等微观空间结构和元素分布分析方法。对具有相似磁控性质的磁流变材料具有研究基础,均为典型的有机-无机复合材料,其载液分子改性主要依赖于有机组分之间的亲核取代、自由基聚合等化学反应。通过对材料的微观分析,建立了分子结构模型,推演了改性反应进程。相关研究成果发表在复合材料领域顶级期刊 *Cement. Concrete Comp.* (2022, IF: 10.5) 上。通过开展磁流变材料分子模型构建和反应进程推演方面的研究,申请人掌握了材料微观结构表征方法及反应过程分析方法,为项目研究中磁流变材料的微-介观、微-宏观跨尺度关联模型的构建,材料的功能设计奠定了良好的研究基础。

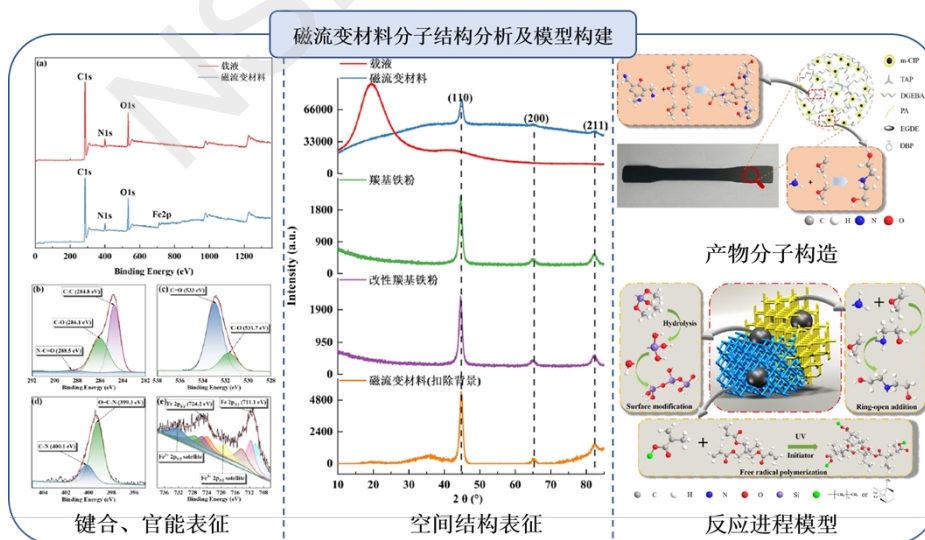


图 9 磁流变材料微观分析研究基础

### (2) 磁流变材料效能分析与机理探究

对磁流变材料的力学和电磁学特性进行了测试分析,研究了材料强度及其对金属的亲水性,从介观断裂形貌和裂纹发育结构解释了材料力学性能成因;

探究了材料的磁化特性与填料含量之间的量化关系，从界面能量传递角度解释了磁控特性机理，并进行了材料的静磁场响应仿真模拟研究。相关成果发表在材料力学顶级期刊 *Compos. Struct.*（2021，IF：6.3）及 *Ind. Eng. Chem. Res.*（2023，IF：4.2）上。研究积累了材料性能表征实验设计和介观形貌学测试分析经验，为本项目中提出的介观-宏观关联模型的构建奠定了研究基础；数值模拟研究为本项目中材料的多场耦合响应机理研究提供了指导。

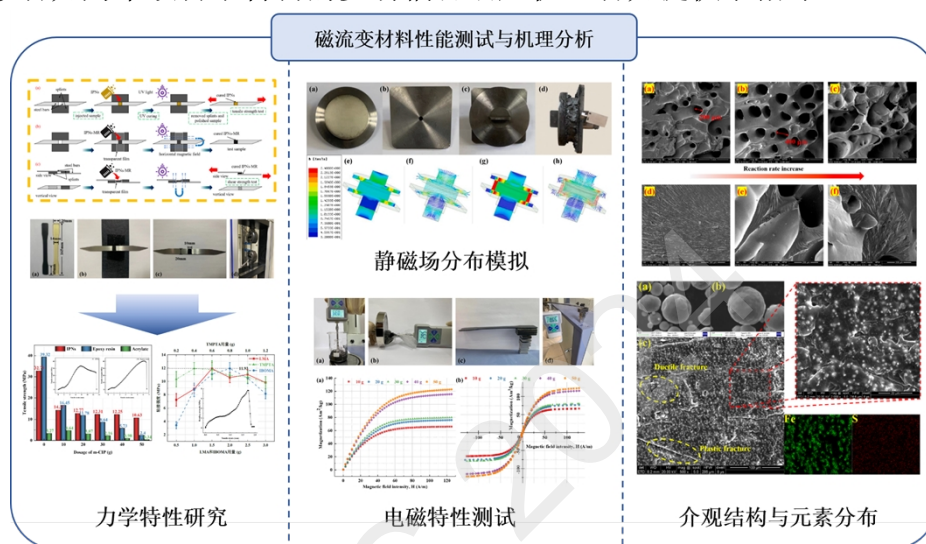


图 10 磁流变材料功能机理研究基础

### （3）分子改性及材料功能设计

项目申请人自研究生阶段以来一直致力于功能材料改性和性能设计研究方向，掌握偶联反应、自由基聚合反应、接枝共聚、阳离子前沿聚合反应等多种改性方法，实现了无机粒子表面有机化改性，树脂材料光-热联合固化设计，天然高分子凝胶功能化改性等。探究了反应条件以及诱导条件对分子反应动力学以及材料性能的影响机理。相关研究成果发表在 *Cellulose*（2018，IF：5.7）、*Powder Technol.*（2021，IF：5.2）等材料化工类顶级期刊上。项目申请人积累了丰富的材料功能设计研究经验。磁流变材料的无机填料和有机载液的相容性和信息传递需要通过表面改性进行功能优化，同时，对于树脂固化条件的研究也为本项目提出的用于管道泄漏应急封堵的磁流变材料功能设计奠定了基础。

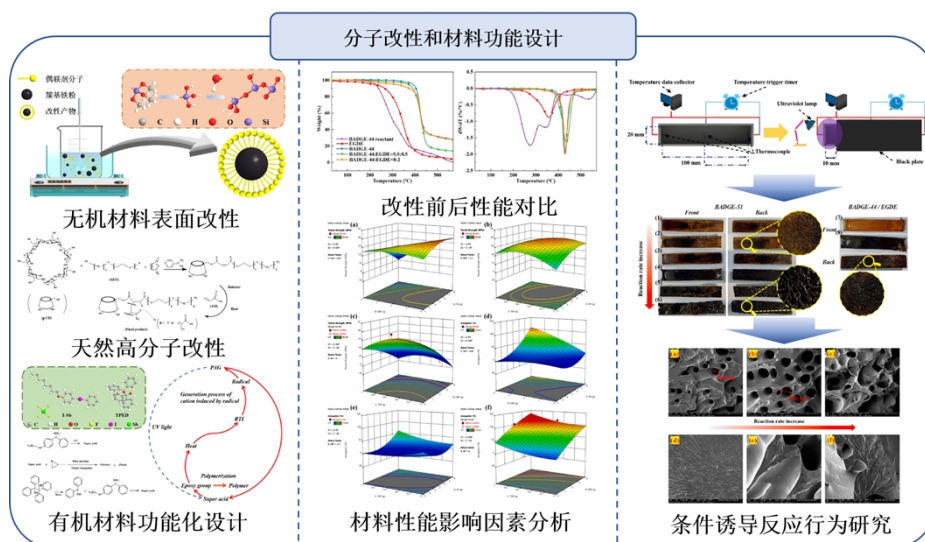


图 11 材料改性和功能设计研究基础

2. 工作条件（包括已具备的实验条件，尚缺少的实验条件和拟解决的途径，包括利用国家实验室、国家重点实验室和部门重点实验室等研究基地的计划与落实情况）；

本项目依托常州大学安全科学与工程学院，公共安全与应急管理研究院，油气储运安全技术创新中心，是国家安全生产监督管理局批准设立的融合科学研究、社会服务和人才培养为一体的实体科研机构。面向全国油气储运安全、环保、节能生产的重大需求，中心重点开展油气安全检测技术、防火防爆技术、消防与应急技术、油气储运管道完整性技术、腐蚀与防护技术、油气管道表面处理技术等研究。



图 12 支撑平台与本项目相关的设备条件





3. 正在承担的与本项目相关的科研项目情况（申请人正在承担的与本项目相关的科研项目情况，包括国家自然科学基金的项目和国家其他科技计划项目，要注明项目的资助机构、项目类别、批准号、项目名称、获资助金额、起止年月、与本项目的关系及负责的内容等）；

无

4. 完成国家自然科学基金项目情况（对申请人负责的前一个已资助期满的科学基金项目（项目名称及批准号）完成情况、后续研究进展及与本申请项目的关系加以详细说明。另附该项目的研究工作总结摘要（限 500 字）和相关成果详细目录）。

无

### （三）其他需要说明的情况

1. 申请人同年申请不同类型的国家自然科学基金项目情况（列明同年申请的其他项目的项目类型、项目名称信息，并说明与本项目之间的区别与联系）。

无

2. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人是否存在同年申请或者参与申请国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，申请或参与申请的其他项目的项目类型、项目名称、单位名称、上述人员在该项目中是申请人还是参与者，并说明单位不一致原因。

无

3. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人是否存在与正在承担的国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，正在承担项目的批准号、项目类型、项目名称、单位名称、起止年月，并说明单位不一致原因。

无

4. 其他。

无



## 马云龙（BRID: 03831.00.88288）简历

2024版

常州大学，安全科学与工程学院、应急管理科学与工程学院，讲师

## 教育经历：

- (1) 2019-09 至 2023-06, 北京理工大学, 先进制造, 博士
- (2) 2016-09 至 2019-06, 山东科技大学, 安全技术及工程, 硕士
- (3) 2014-09 至 2016-06, 华北科技学院, 安全工程, 学士
- (4) 2011-09 至 2014-06, 华北科技学院, 交通安全与智能控制, 其他

## 博士后工作经历：

无

## 科研与学术工作经历（博士后工作经历除外）：

- (1) 2023-10 至 今, 常州大学, 安全科学与工程学院, 应急管理科学与工程学院, 讲师

## 曾使用其他证件信息：

无

## 近五年主持或参加的国家自然科学基金项目/课题：

- (1) 国家自然科学基金委员会, 面上项目, 12172053, 多相态耦合二氧化碳BLEVE机理及相变演化动力学研究, 2022-01-01 至 2025-12-31, 61万元, 在研, 参与
- (2) 国家自然科学基金委员会, 青年科学基金项目, 51804183, 多因素作用下掘进巷道热环境变化规律及最小降温能耗控制模型研究, 2019-01-01 至 2021-12-31, 26万元, 结题, 参与

## 近五年主持或参加的其他科研项目/课题（国家自然科学基金项目除外）：

无

代表性研究成果和学术奖励情况（填写代表性论文时应根据其发表时的真实情况如实规范列出所有作者署名，并对本人署名情况进行标注，包括：①作者署名按姓氏排序；②唯一第一作者；③共同第一作者；④唯一通讯作者；⑤共同通讯作者；⑥其他情况）：

一、代表性论著（请在“申请书详情”界面，点开“人员信息”-“代表性成果”卡片查看对应的全文）：

(1) Yunlong Ma; Zhenyi Liu; Xinming Qian; Yao Zhao; Mingzhi Li; Pengliang Li ; Effect of Excessive Iodonium Salts on the Properties of Radical-Induced Cationic Frontal Polymerization (RICFP) of Epoxy Resin, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2023, 62(12): 4896-4904 (期刊论文) (本人标注: 唯一第一作者)

(2) Yunlong Ma; Zhenyi Liu; Pengliang Li; Mingzhi Li; Yao Zhao ; Fabrication of epoxy resin/acrylate IPNs magnetorheological material with oil-surface bonding for damage repair of long-distance oil pipelines, *Cement & Concrete Composites*, 2022, 131: 104572 (期刊论文) (本人标注: 唯一第一作者)

(3) Yunlong Ma; Zhenyi Liu; Mingzhi Li; Yao Zhao; Peng Cai ; Preparation and properties of a magnetorheological material used for pipeline and pressure vessel damage repair, *Composite Structures*, 2021, 276: 114566 (期刊论文) (本人标注: 唯一第一作者)



(4) Yunlong Ma; Jian Sun; Jianfei Ding; Zhenyi Liu ; Synthesis and characterization of a penetrating and pre-wetting agent for coal seam water injection, *Powder Technology*, 2021, 380: 368-376 (期刊论文) (本人标注: 唯一第一作者)

(5) Yunlong Ma; Gang Zhou; Jianfei Ding; Shuailong Li; Gang Wang ; Preparation and characterization of an agglomeration-cementing agent for dust suppression in open pit coal mining, *Cellulose*, 2018, 25: 4011-4029 (期刊论文) (本人标注: 唯一第一作者)

## 二、论著之外的代表性研究成果和学术奖励:

(1) 刘振翼; 马云龙; 李明智; 赵耀 ; 磁流变材料、制备方法及铁质容器修复方法, 2022-07-22, 中国, CN202011612374.0 (专利)

(2) 刘振翼; 马云龙; 赵耀; 李明智; 李鹏亮 ; 磁流变修复材料、其制备方法及输油管道修复方法, 2022-10-25, 中国, CN202111284468.4 (专利)

(3) 周刚; 马云龙; 李帅龙; 丁建飞; 王家远; 魏星 ; 一种高分子凝聚粘结型抑尘剂及其制备方法, 2021-02-09, 中国, CN201810572012.X (专利)

(4) 周刚; 马云龙; 范韬; 邱磊; 邱晗; 徐茂; 冯博; 王家远 ; 一种基于接枝共聚方法制备高分子产物的喷雾抑尘剂及方法, 2019-09-06, 中国, CN201710306397.0 (专利)



附件信息

| 序号 | 附件名称   | 备注 | 附件类型  |
|----|--|----|-------|
| 1  | Effect of excessive iodonium salts on the properti |    | 代表性论著 |
| 2  | Fabrication of epoxy resinacrylate IPNs magnetorhe |    | 代表性论著 |
| 3  | Preparation and properties of a magnetorheological |    | 代表性论著 |
| 4  | Synthesis and characterization of a penetrating an |    | 代表性论著 |
| 5  | Preparation and characterization of an agglomerati |    | 代表性论著 |

NSFC 2024



项目名称： 可控磁驱粘合材料的跨尺度性能调控及应急带压封堵机理  
资助类型： 青年科学基金项目  
申请代码： E0408. 安全科学与工程

## 国家自然科学基金项目申请人和参与者承诺书

为了维护国家自然科学基金项目评审公平、公正，共同营造风清气正的科研生态，本人**在此郑重承诺**：严格遵守《中华人民共和国科学技术进步法》《国家自然科学基金条例》《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》《关于进一步弘扬科学家精神加强作风和学风建设的意见》《关于加强科技伦理治理的意见》以及科技部、自然科学基金委关于科研诚信建设有关规定和要求；申请材料信息真实准确，不含任何涉密信息或敏感信息，不含任何违反法律法规或违反科研伦理规范的内容；在国家自然科学基金项目申请、评审和执行全过程中，恪守职业规范和科学道德，遵守评审规则和工作纪律，杜绝以下行为：

- （一）抄袭、剽窃他人申请书、论文等科研成果或者伪造、篡改研究数据、研究结论；
- （二）购买、代写申请书；购买、代写、代投论文，虚构同行评议专家及评议意见；购买实验数据；
- （三）违反成果发表规范、署名规范、引用规范，擅自标注或虚假标注获得科技计划等资助；
- （四）在项目申请书中以高指标通过评审，在项目计划书中故意篡改降低相应指标；
- （五）以任何形式打听或散布尚未公布的评审专家名单及其他评审过程中的保密信息；
- （六）本人或委托他人通过各种方式和途径联系有关专家进行请托、游说、“打招呼”，违规到评审会议驻地窥探、游说、询问等干扰评审或可能影响评审公正性的行为；
- （七）向工作人员、评审专家等提供任何形式的礼品、礼金、有价证券、支付凭证、商业预付卡、电子红包，或提供宴请、旅游、娱乐健身等任何可能影响评审公正性的活动；
- （八）违反财经纪律和相关管理规定的行为；
- （九）其他弄虚作假行为。

如违背上述承诺，本人愿接受国家自然科学基金委员会和相关部门做出的各项处理决定，包括但不限于撤销科学基金资助项目，追回项目资助经费，向社会通报违规情况，取消一定期限国家自然科学基金项目申请资格，记入科研诚信严重失信行为数据库以及接受相应的党纪政务处分等。

申请人签字：



项目名称： 可控磁驱粘合材料的跨尺度性能调控及应急带压封堵机理  
资助类型： 青年科学基金项目  
申请代码： E0408. 安全科学与工程

## 国家自然科学基金项目申请单位承诺书

为了维护国家自然科学基金项目评审公平、公正，共同营造风清气正的科研生态，**本单位郑重承诺**：申请材料中不存在违背《中华人民共和国科学技术进步法》《国家自然科学基金条例》《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》《关于进一步弘扬科学家精神加强作风和学风建设的意见》《关于加强科技伦理治理的意见》以及科技部、自然科学基金委关于科研诚信建设有关规定和要求的情况；申请材料符合《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等有关法律法规和规章制度要求，不含任何涉密信息或敏感信息；申请材料不含任何违反法律法规或违反科研伦理规范的内容；申请人符合相应项目的申请资格；依托单位、合作研究单位、申请人及主要参与者不在限制申报、承担或参与财政性资金支持的科技活动的期限内；在项目申请和评审活动全过程中，遵守有关评审规则和工作纪律，杜绝以下行为：

（一）以任何形式打听或公布未公开的项目评审信息、评审专家信息及其他评审过程中的保密信息，干扰评审专家的评审工作；

（二）组织或协助申请人/参与者向工作人员、评审专家等给予任何形式的礼品、礼金、有价证券、支付凭证、商业预付卡、电子红包等；宴请工作人员、评审专家，或组织任何可能影响科学基金评审公正性的活动；

（三）支持、放任或对申请人/参与者抄袭、剽窃、重复申报、提供虚假信息（含身份和学术信息）等不当手段申报国家自然科学基金项目疏于管理；

（四）支持或协助申请人/参与者采取“打招呼”“围会”等方式影响科学基金项目评审；

（五）其他违反财经纪律和相关管理规定的行为。

如违背上述承诺，本单位愿接受自然科学基金委和相关部门做出的各项处理决定，包括但不限于停拨或核减经费、追回项目已拨经费、取消本单位一定期限国家自然科学基金项目申请资格、记入科研诚信严重失信行为数据库以及主要责任人接受相应党纪政务处分等。

依托单位公章：

日期： 年 月 日