2025年博士研究生复试笔试专用答题纸

**专业研究报告**

**一、学习背景**

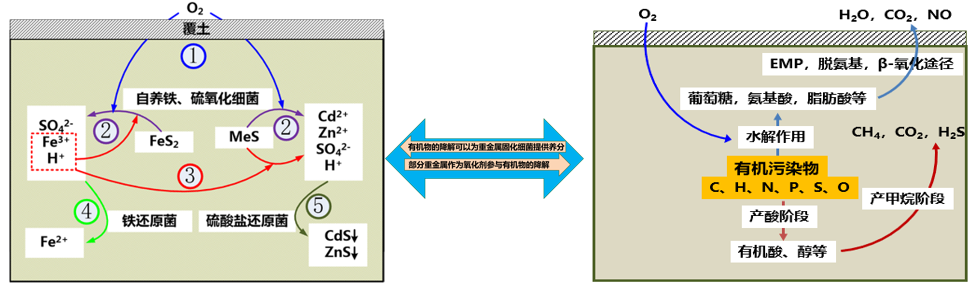
本人攻读博士学位旨在深化环境修复领域的交叉学科研究能力，尤其在微生物-地质协同修复方向实现理论创新与技术突破。硕士阶段主攻地质勘探与微生物修复技术，系统构建了岩土工程勘察、地下水污染监测评估、污染物降解微生物筛选等复合型知识体系，并参与完成国家自然科学基金及中石化科技项目等16项纵向课题，发表论文19篇，申请专利3项，形成污染物检测分（HPLC/GC-MS）、微生物群落构建及原位修复效果评估等核心技术能力。

选择环境修复方向源于其与前期研究的高度契合：既包含地质学领域积累的污染场地勘察评估经验，又涉及微生物修复技术中功能菌群筛选驯化及复配优化等核心环节，尤其在石化污染与重金属污染修复领域已形成实践基础。贵团队在环境修复领域的创新性成果，特别是地质-微生物协同作用机制研究，为深化原位修复技术提供了独特视角。依托团队先进的实验平台与交叉学科研究范式，可进一步开展污染物迁移转化机制研究，优化多技术耦合的修复工艺，推动理论成果向工程化应用转化。

**二、研究方向**

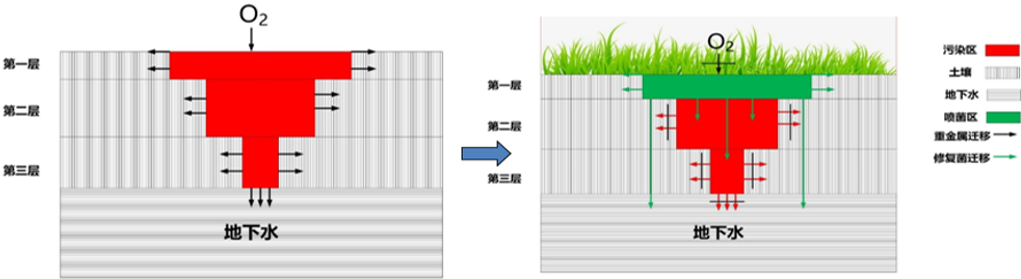
基于《中华人民共和国土壤污染防治法》和相关法规，石油石化行业作为土壤污染重点监管单位，必须严格落实土壤污染防治措施。根据法律要求，石化企业应定期开展污染土壤的调查，进行风险管控与修复，并向生态环境主管部门报告相关情况。特别是在生产过程中，土壤污染的持续监控和修复成为企业的法定义务。目前的主要土壤修复技术分别有三类，分别是物理、化学、生物修复技术。传统物理化学修复技术虽然起效快，但存在高能耗、二次污染和修复深度有限等问题。因此，绿色可持续的生物修复策略，尤其是微生物修复，因其成本低、靶向性强、生态友好等优势，成为研究和应用的热点。此外，随着国家对绿色低碳技术的日益重视，生态环境部明确提出，优先采用原位修复、生物修复等绿色低碳技术。因此，石油石化在产企业开展基于微生物原位修复的绿色低碳技术研发与示范，既符合国家法律法规要求，也响应了当前环境保护技术的发展趋势。这一技术不仅能够有效管控和修复污染土壤，还能促进企业可持续发展，助力实现环境与经济的双赢，然而，天然环境中微生物活性受限于电子受体缺乏、电子传递效率低、污染物生物可利用性差等因素。近年来研究者提出多种增强技术，如微生物-矿物协同、微生物-植物联动等耦合修复方式，用以提高降解效率和环境适应性。综合目前领域内的研究现状和现场实践的可行性，以下为本人结合石化场地特征的拟开展的微生物修复技术的三个研究方向：

1. 基于微生物的有机物-重金属原位脱毒技术：石化场地的污染通常涉及到有机污染物（VOCs和多环芳烃等）和重金属（如铅、镉、汞等）等，这些污染对地下水和土壤质量造成损伤，可严重威胁生态环境，基于此本人拟开展有机物-重金属微生物原位修复技术研究（图1）。一方面，本技术复配铁还原菌和硫酸盐还原菌（重金属固化菌群），通过铁还原菌将Fe3+还原为Fe2+，通过硫酸盐还原菌将硫酸根还原为S2-。这一过程中，微生物代谢作用降低了环境电位并提高了pH值，有助于将游离重金属离子转化为稳定的金属硫化物，防止其再溶解并迁移。另一方面，本技术引入有机物降解菌，这些菌群通过代谢作用将有机污染物（如VOCs）降解为H2O和CO2。在这一过程中，降解产物为重金属固化菌群提供了必要的营养，而重金属作为氧化剂也参与了有机物的降解。通过两种菌群的协同作用，本技术能够实现石化场地污染物的双重治理：不仅高效降解有机污染物，还能将重金属固化为不易溶解的金属硫化物，从而降低其生物可利用性，减少污染物的扩散和危害。该技术具有显著的环境保护和经济价值，特别适用于石化场地的原位修复。



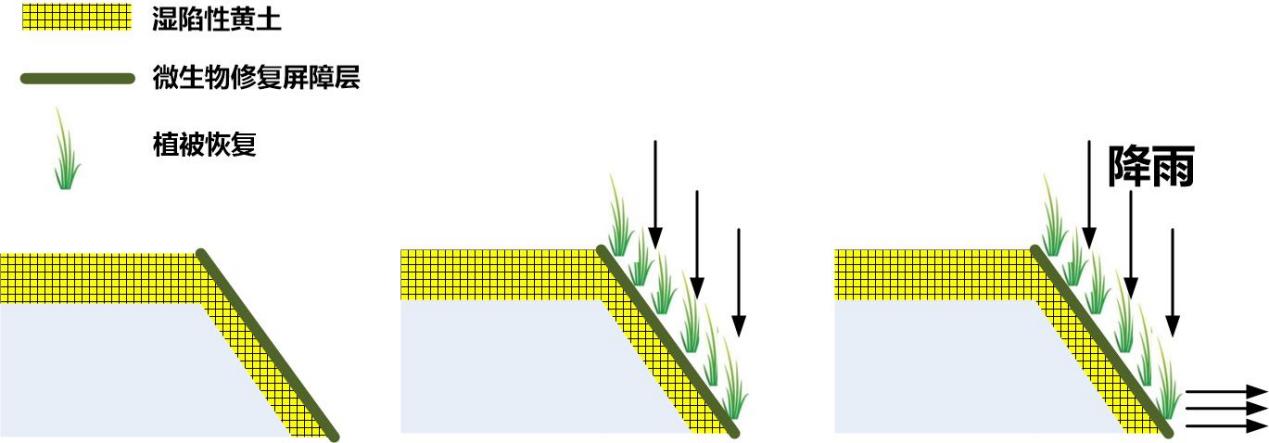
**图1：**基于微生物的有机物-重金属原位脱毒技术

1. 微生物-植物共生的O2主动消耗层构建技术：石化场地常见有重金属和有机污染物，部分污染物往往难以在富氧环境下展开修复。该技术旨在构建高层次草本植物、木本植物及微生物群落系统（图2），形成一个主动的O2消耗层，限制O2的进入，通过微生物的代谢活动还原土壤中的三价铁（Fe³+）为二价铁（Fe²+）。在缺乏O2和Fe3+的环境下，黄铁矿及其他金属硫化物的氧化过程被有效抑制，从而减少了重金属的溶解与迁移。植物根系则为微生物提供碳源，支持微生物的持续生长与繁殖。这些微生物不仅能够固化土壤中的重金属，还能降解土壤中的有机污染物。通过这一多层次的生态协同作用，实现了下部土壤污染物的绿色、可持续修复。



**图2**：微生物-植物共生的O2主动消耗层构建技术

1. 微生物-纳米硅屏障层修复技术：该技术涉及微生物和纳米硅材料的联合应用，主要用于石化场地的污染治理、土壤修复和水质改善等领域。微生物-纳米硅屏障层技术是通过将微生物与纳米硅材料结合，利用纳米硅材料的物理化学特性以及微生物的降解能力，在环境污染物的修复过程中起到协同作用。通过将微生物固定于纳米硅表面，形成微生物-纳米硅复合材料，从而提高微生物的稳定性与活性。另外，纳米硅材料颗粒非常小，能够在污染环境中形成一层物理屏障，防止污染物扩散，吸附并固定污染物，从而促进微生物与污染物的接触，增强微生物降解污染物的效率。



**图3**：微生物-纳米硅屏障层修复技术

**三、研究计划**

**（1）修复属地土壤地球化学调查与群落结构分析：**本研究以典型修复区域土壤为研究对象，通过钻探与土壤采样等方法，布设多个监测点，全面评估场地土壤的污染现状。研究从横向与纵向两个维度出发，探讨不同空间尺度下的土壤环境参数变化。通过系统分析土壤内源微生物种群结构，揭示区域内微生物群落的组成、生态功能及其关键贡献菌群，进一步评估土壤中微生物群落的潜在生态演化趋势，为修复策略的制定提供科学依据。

**（2）功能微生物群落复配与纳米硅协同修复技术研发：**从属地土壤样本中筛选有机降解菌、光合细菌、固氮菌等功能性微生物，与实验室现有微生物群落进行复配，研究不同培养条件下微生物群落的稳定性与可持续性。通过模拟生态胁迫条件，深入探讨微生物群落的修复机理、优势微生物群落的演替规律以及修复过程中环境响应机制。此外，结合实验室柱式修复系统，研究纳米硅与微生物的协同作用，探索纳米硅投加后对土壤渗透性、污染物通量及VOC（挥发性有机化合物）降解的影响，最终形成有效的纳米硅-微生物协同修复技术原型。

**（3）微生物菌剂大规模培养工艺研究：**针对己内酰胺产业链装置区的污染特点，研发适用于现场制备和喷洒的可移动微生物菌剂培养工艺。通过优化喷洒工艺与布液方式，提升菌液喷洒的效率与修复过程的精细管理。重点开展不同布液方式下微生物控制效果的研究，优化喷洒参数，为工程化应用中的连续动态喷洒系统提供技术支持，确保修复效果的长期稳定性和可操作性。

**（4）现场工程示范研究：**在前期研究基础上，选择典型污染地块（20 m × 25 m）开展现场工程示范，定期记录修复过程中的地表植被恢复情况、有机污染物浓度变化、微生物群落结构变化及渗透系数等关键参数。结合微生物群落演替、污染物去除与植被恢复等数据，深入研究原位修复的机理和机制，总结工程示范中的关键实操参数，为大规模应用提供理论支持与实践经验。

**四、技能提升**

在博士期间，本人拟通过实验室研究与现场示范相结合的模式，系统提升以下四个维度的研究能力：

（1）技术方法深化：

① 强化原位表征技术（如同步辐射XANES、荧光原位杂交技术FISH）与组学分析（宏基因组/代谢组学）的训练，精准解析污染物-微生物-地质介质的界面反应机制；

② 掌握动态模拟建模（COMSOL/PHREEQC）与机器学习算法（随机森林/神经网络）的耦合应用，提升污染物迁移转化预测精度；

③ 完善工程化应用技能，包括修复材料中试放大工艺设计、现场原位修复设备操作（如生物注射井/渗透反应墙）及修复效果长期监测方案优化。

（2）学科交叉融合：

① 系统学习环境化学（污染物赋存形态解析）、水文地质学（地下水流场数值模拟）与合成生物学（功能菌株定向改造）的核心理论；

② 参与微流控芯片技术与纳米材料设计的跨学科研讨，探索微生物-矿物协同增效机制；

③ 定期参与地质工程与生物技术交叉领域的联合课题组会议，建立"地质屏障-生物转化-生态恢复"的系统修复思维框架。

（3）学术表达与协作：

① 通过阅读学习《Nature Protocols》《Environmental Science & Technology》等顶刊论文的结构、逻辑、用词，应用到自己平时的写作训练中，提升"科学问题凝练-数据可视化呈现-机理深度阐释"的全链条表达能力；

② 针对性参加国际会议辩论工作坊（如AGU/ISME专题研讨会），强化英文汇报中的逻辑构建与即时问答技巧；

（4）工程化转化能力：

① 参与修复工艺标准化流程制定，重点突破微生物菌剂低温保存技术、地质材料缓释包覆工艺等产业化瓶颈；

② 定期赴中石化、中海油等企业污染场地驻场调研，通过“实验室-中试-工程验证”三级反馈机制优化技术参数。