



## 研究生课程教学大纲

课 程 名 称：	高级腐蚀工程		
	Advanced Corrosion Engineering		
课 程 编 号：	ZX14110D		
开 课 单 位：	材料科学与工程学院	开 课 学 期：	1
课 内 学 时：	32	学 分：	2
适 用 学 科 专业及层次：	材料科学与工程专业，博士研究生课程		
授 课 语 言：	中文		
先 修 课 程：	腐蚀和腐蚀控制原理、腐蚀电化学原理		
负 责 人：	孙建波	团 队 成 员：	赵卫民、孙冲

### 一、课程简介

腐蚀是影响金属材料使用寿命和可靠性的主要问题。高级腐蚀工程主要讲授控制腐蚀的化学和电化学表面反应，以及微观行为和宏观行为之间的联系，包括热力学、动力学、传质、电位理论、钝化、点蚀、应力腐蚀、氢脆等研究的最新进展。进一步地，以深海/深层油气开发中油气装备面临的高温高压  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  腐蚀，临氢环境中金属结构的氢损伤和碳捕集、利用与封存(CCUS)中的密相  $\text{CO}_2$  流体腐蚀为例，介绍腐蚀机理与工业中实际应用之间的联系。本课程是为材料科学与工程学科博士研究生开设的一门专业选修课，是腐蚀电化学原理课程的深化和拓展，目的在于帮助学生熟悉和掌握能源装备腐蚀和腐蚀控制方面的最新进展。

### 二、课程大纲

#### (一) 课程目标

目标 1：掌握腐蚀热力学、动力学、传质、电位理论、钝化、点蚀、氢脆、应力腐蚀等的基本理论和研究的最新进展。

目标 2: 了解双碳目标和能源安全战略下我国能源装备面临的腐蚀问题, 能够运用腐蚀原理识别与判断能源装备材料复杂腐蚀工程问题的关键环节, 并能够基于科学原理和数学模型正确表达复杂工程问题。

## (二) 课程内容

### 第 1 章 金属电化学腐蚀热力学

本章重点难点: 电极电位、POURBAIX 图

电极电位的形成及双电层结构, 平衡电极电位与非平衡电极电位, 电极电位的测量, 能斯特方程及其应用、金属电化学腐蚀倾向的判断、POURBAIX 图的建立和应用。

### 第 2 章 金属电化学腐蚀动力学

本章重点难点: 极化行为对腐蚀速率的影响

欧姆极化, 电化学极化, 浓差极化, 电化学动力学与腐蚀的相关性、极化行为对腐蚀速率的影响。

### 第 3 章 钝化

本章重点难点: 钝化机理

可钝化金属的阳极极化曲线、成相膜理论与吸附理论、钝化热力学、钝化动力学、钝化膜的成分与结构、钝化膜的电学特性、影响钝化的因素、典型金属的钝化行为。

### 第 4 章 点蚀

本章重点难点: 钝化膜的破坏机制

点蚀电位和保护电位、钝化膜破坏的渗透机制、膜破坏机制和吸附机制, 蚀坑形核的纳米尺度研究、导致局部腐蚀的电化学条件、点蚀坑的生长和再钝化、点蚀的影响因素。

### 第 5 章 应力腐蚀

本章重点难点: 应力腐蚀机理

应力腐蚀特征与分类, 应力腐蚀的影响因素, 应力和应变在应力腐蚀中的作用, 氢在阳极溶解型应力腐蚀中的作用, 腐蚀促进局部塑性变形, 阳极溶解型应力腐蚀机理, 应力腐蚀评价方法。

### 第 6 章 油气工业中的 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 腐蚀

本章重点难点: 腐蚀产物膜形成机理及其对腐蚀的影响

$\text{CO}_2$  腐蚀的电极反应机理,  $\text{H}_2\text{S}$  腐蚀的电极反应机理, 腐蚀产物膜形成机理,  $\text{CO}_2$  腐蚀形态,  $\text{CO}_2$  腐蚀影响因素,  $\text{H}_2\text{S}$  腐蚀影响因素,  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{S}$  共存时的腐蚀机理, 酸性油气田的选材与腐蚀综合治理。

### 第 7 章 碳捕集利用与封存中的密相 $\text{CO}_2$ 流体腐蚀

本章重点难点: 含杂质密相  $\text{CO}_2$  流体的水相行为及腐蚀作用机理

碳捕集利用与封存 (CCUS) 技术, 密相  $\text{CO}_2$  输送管道腐蚀影响因素,  $\text{CO}_2$  流

体水相行为热力学，杂质及杂质协同腐蚀作用机理，CO<sub>2</sub> 管道运行条件及相态变化对腐蚀的影响，CO<sub>2</sub> 管道环境断裂敏感性及其机理，密相 CO<sub>2</sub> 流体腐蚀防控。

### 第 8 章 临氢金属结构的氢脆和控制

本章重点难点：高压氢脆机理

氢在金属中的行为（氢的来源、溶解度、氢引起的晶体变化、氢扩散和氢陷阱），氢脆、氢蚀、氢对材料性能的影响，氢脆及氢致开裂理论，氢脆敏感性评价方法，金属环境氢渗透，氢脆防控。

## 三、教学安排及要求

内容	课内学时	教学方式	课外学时	课外环节	课程目标
1	2	理论讲授	2	文献阅读	目标 1
2	6	理论讲授	6	文献阅读	目标 1
3	4	理论讲授	4	文献阅读	目标 1
4	4	理论讲授/案例研讨	4	专题调研	目标 1
5	4	理论讲授/案例研讨	4	专题调研	目标 1
6	4	理论讲授/案例研讨	4	专题调研	目标 2
7	4	理论讲授/案例研讨	4	专题调研	目标 2
8	4	理论讲授/案例研讨	4	专题调研	目标 2

## 四、考核内容、方式及评分标准

### （一）考核环节

考核环节		总成绩占比	支撑课程目标
课堂表现	1. 本课程要求每个学生有 2 次课堂报告（专题报告/案例分析报告），每次占比 50%。 2. 成绩采用百分制，主要根据 PPT 准备、讲述表现、综合应用知识分析问题解决问题的能力、创新性等评分。	50%	目标 1

期末考核	1. 以课程论文的形成进行考核，成绩采用百分制，成绩总分 100 分。 2. 主要考核学生综合运用所学知识对某个腐蚀前沿问题进行归纳和分析的能力，将根据课程报告的前沿性、系统性、严谨性等综合评价。	50%	目标 2
------	---	-----	------

## (二) 评分标准

考核环节	<60	60-75	75-90	90-100
课堂表现	上课出勤较低，上课不认真，很少与老师互动，课堂汇报准备不充分，讲述不清晰，缺乏应用知识回答课堂问题的能力。	上课出勤较高，基本能够认真听讲，与老师互动积极性一般，课堂汇报准备一般，讲述基本清晰，基本能够应用知识回答课堂提问。	能够高出勤上课，上课比较认真，与老师互动比较积极，课堂汇报准备比较充分、讲述清晰，能够较好的应用知识回答课堂提问。	能够满勤到课，上课认真，积极与老师互动，课堂汇报准备充分、讲述清晰，能够熟练应用知识回答课堂提问。
期末考核	课程报告没有反映腐蚀工程的最新研究进展，报告内容的丰富度和全面性较差，分析问题不深入、不严谨。	课程报告能够基本反映腐蚀工程的最新研究进展，报告内容的丰富度和全面性一般，分析问题的深入和严谨性一般。	课程报告能够较好的反映腐蚀工程的最新研究进展，报告内容比较详实、全面，分析问题严谨，具有一定的深度。	课程报告能够很好的反映腐蚀工程的最新研究进展，报告内容详实、全面，分析问题深入、严谨。

## 五、教材与参考资料

### (一) 教材

1. 自编教材（未成册）。

### (二) 主要参考资料：

1. 曹楚南. 腐蚀电化学原理（第三版）. 化学工业出版社, 2008.
2. 褚武扬. 氢脆和应力腐蚀, 基础部分. 科学出版社, 2013.
3. Popov B. N. Corrosion Engineering: Principles and Solved Problems. Elsevier

B.V., 2015.

4.Marcus P. Corrosion Mechanisms in Theory and Practice. Third Edition. Crc Press, 2011.

5.Mohitpour M., Seevam P., Botros K.K., Rothwell B., Ennis C. Pipeline Transportation of Carbon Dioxide Containing Impurities. ASME Press, 2012.

## 六、其它说明

无。

大纲执笔人： 孙建波

审核人（学位点负责人）：

分管院长签字：