

油气储运工程师技术岗位资质认证丛书

YOUQI CHUYUN GONGCHENGSHI JISHU GANGWEI ZIZHI RENZHENG CONGSHU

管道工程师

GUANDAO GONGCHENGSHI

中国石油天然气股份有限公司管道分公司◎编



石油工业出版社

管道工程师

中国石油天然气股份有限公司管道分公司 编

常州大学图书馆
藏书章

石油工業出版社

(樂師黃俊中前赴廣州，歸回時風聲已烈出城)

内 容 提 要

本书系统介绍了油气储运管道工程师所应掌握的专业基础知识、管理内容及相关知识,并分三个层级给出相应的测试试题。其中,第一部分专业基础知识重点介绍了阴极保护、管道保护、管道应急管理知识、工程施工管理等;第二部分技术管理内容及知识重点介绍了管道防腐管理、管道保护管理、管道完整性管理、管道应急管理、管道管理系统使用等管理内容;第三部分为试题集,是评估相关从业人员岗位胜任能力的标准。

本书适用于油气储运管道工程师技术岗位和相关管理岗位人员阅读,可作为业务指导及资质认证培训、考核用书。

图书在版编目(CIP)数据

管道工程师 / 中国石油天然气股份有限公司管道分公司

编. —北京:石油工业出版社, 2018. 1

(油气储运工程师技术岗位资质认证丛书)

ISBN 978-7-5183-1956-5

I. ①管… II. ①中… III. ①油气运输-管道运输-技术培训-教材 IV. ①TE973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 159828 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com

编辑部: (010)64523583 图书营销中心: (010)64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 15.75

字数: 360 千字

定价: 72.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

《油气储运工程师技术岗位资质认证丛书》是针对油气储运工程师技术岗位资质培训的系列丛书。本丛书按照专业领域及岗位设置划分编写了《工艺工程师》《设备(机械)工程师》《电气工程师》《管道工程师》《维抢修工程师》《能源工程师》《仪表自动化工程师》《计量工程师》《通信工程师》和《安全工程师》10个分册。对各岗位工作任务进行梳理,以此为依据,本着“干什么、学什么,缺什么、补什么”的原则,按照统一、科学、规范、适用、可操作的要求进行编写。作者均为生产管理、专业技术等方面的骨干力量。

每分册内容分为三部分,第一部分为专业基础知识,第二部分为管理内容,第三部分为试题集。其中专业基础知识、管理内容不分层级,试题集按照难易度和复杂程度分初、中、高三个资质层级,基本涵盖了现有工程师岗位人员所必须的知识点和技能点,内容上力求做到理论和实际有机结合。

《管道工程师》分册由中国石油管道公司管道处(保卫处)牵头,北京输油气分公司、济南输油分公司等单位参与编写。其中,姜艳华编写阴极保护知识、工程施工管理知识、管道完整性管理及相关试题;何飞编写管道保护知识、管道应急管理知识、管道保护管理、管道应急管理及相关试题何飞、张娜娜编写管道防腐管理及相关试题;崔蕾编写管道管理系统使用及相关试题。王洪涛负责整体架构设计、统稿工作,最后由审核组审定。

在编写过程中,编写人员克服了时间紧、任务重等困难,占用大量业余时间,编者所在的单位和部门给予了大力的支持,在此一并表示感谢。因作者水平有限,内容难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正,以便修订完善。

编 者

目 录

管道工程师工作任务和工作标准清单	(1)
------------------------	-------

第一部分 管道专业基础知识

第一章 阴极保护知识	(3)
第一节 概述	(3)
第二节 阴极保护原理	(8)
第三节 阴极保护主要技术指标	(14)
第四节 杂散电流腐蚀干扰的判断与测试	(16)
第五节 储罐阴极保护基础知识	(25)
第六节 管道阴极保护设施的安装与调试	(28)
第七节 管道阴极保护设计基础知识	(30)
第八节 管道防腐层知识	(38)
第九节 PCM+管道检测	(56)
第二章 管道保护知识	(61)
第一节 管道保护重要性	(61)
第二节 管道地面标识	(61)
第三节 第三方施工	(62)
第四节 与管道相遇的第三方施工处理原则	(62)
第五节 地质灾害	(69)
第三章 管道应急管理知识	(71)
第一节 概述	(71)
第二节 应急预案	(71)
第三节 应急响应	(74)
第四节 应急物资管理	(78)
第四章 工程施工管理知识	(79)
第一节 管线钢简介	(79)
第二节 钢管简介	(82)
第三节 管道施工焊接简介	(88)
第四节 缺陷修复简介	(101)
第五节 埋地钢质管道腐蚀防护工程	(108)
第六节 管道穿越公路和铁路施工	(112)

第二部分 管道技术管理及相关知识

第五章 管道防腐管理	(114)
第一节 管道阴极保护管理	(114)
第二节 管道防腐层管理	(128)
第六章 管道保护管理	(138)
第一节 管道巡护管理	(138)
第二节 管道地面标识管理	(139)
第三节 管道保护宣传	(142)
第四节 第三方施工管理	(143)
第五节 防汛及地质灾害管理	(145)
第六节 管道占压管理	(146)
第七章 管道完整性管理	(148)
第一节 管道高后果区识别与管理	(148)
第二节 管道风险评价数据收集与整理	(152)
第八章 管道应急管理	(155)
第一节 应急预案	(155)
第二节 应急响应	(157)
第九章 管道管理系统使用	(158)
第一节 PIS 系统使用	(158)
第二节 GPS 系统使用	(158)

第三部分 管道工程师资质认证试题集

初级资质理论认证	(160)
初级资质理论认证要素细目表	(160)
初级资质理论认证试题	(161)
初级资质理论认证试题答案	(175)
初级资质工作任务认证	(182)
初级资质工作任务认证要素明细表	(182)
初级资质工作任务认证试题	(183)
中级资质理论认证	(197)
中级资质理论认证要素细目表	(197)
中级资质理论认证试题	(198)
中级资质理论认证试题答案	(211)
中级资质工作任务认证	(216)
中级资质工作任务认证要素明细表	(216)
中级资质工作任务认证试题	(216)

高级资质理论认证 (225)

 高级资质理论认证要素细目表 (225)

 高级资质理论认证试题 (225)

 高级资质理论认证试题答案 (231)

高级资质工作任务认证 (235)

 高级资质工作任务认证要素明细表 (235)

 高级资质工作任务认证试题 (235)

参考文献 (241)

序号	工作任务	工作标准	考核要点
1	管道工程的设计	1. 熟悉设计规范和标准 2. 掌握设计方法和步骤 3. 能够独立完成设计任务	1. 设计方案的合理性 2. 设计计算的准确性 3. 设计成果的完整性
2	管道工程的施工	1. 熟悉施工工艺和流程 2. 掌握施工方法和步骤 3. 能够独立完成施工任务	1. 施工方案的合理性 2. 施工操作的规范性 3. 施工成果的完整性
3	管道工程的验收	1. 熟悉验收标准和程序 2. 掌握验收方法和步骤 3. 能够独立完成验收任务	1. 验收方案的合理性 2. 验收操作的规范性 3. 验收成果的完整性
4	管道工程的维护	1. 熟悉维护规程和标准 2. 掌握维护方法和步骤 3. 能够独立完成维护任务	1. 维护方案的合理性 2. 维护操作的规范性 3. 维护成果的完整性

管道工程师工作任务和工作标准清单

序号	工作任务	工作步骤、目标结果、行为标准[输油、气站]		
		初级	中级	高级
业务模块一：管道防腐管理				
1	管道阴极保护管理	(1) 阴极保护站的日常维护； (2) 阴极保护投运前对被保护管道的检查及验收； (3) 阴极保护投运	(1) 电位测量； (2) 杂散电流干扰腐蚀测试	管道阴极保护系统异常情况分析与应对
2	管道防腐层管理	(1) 管道防腐层检测计划编制； (2) 管道定位、埋深检测	A 字架探测管道防腐层缺陷	编制防腐层修复方案
业务模块二：管道保护管理				
1	管道巡护管理	(1) 管道重点防护部位管理； (2) 检查巡护人员的巡线情况、组织召开巡护人员会议； (3) 开展管道巡护管理	(1) 各类管道风险的识别； (2) 与公安等政府部门建立联系，定期汇报管道保护情况	(1) 识别出风险管控； (2) 协调处理管道保护相关事宜
2	管道地面标识管理	定期更新管道地面标识台账，组织对管道地面标识进行日常维护	地面标识制作与设置	
3	管道保护宣传	(1) 制订本站的年度管道保护宣传计划； (2) 参与管道宣传活动，做好《管道宣传活动记录》	制订本站管道保护宣传方案	管道保护法宣贯

续表

序号	工作任务	工作步骤、目标结果、行为标准〔输油、气站〕		
		初级	中级	高级
4	第三方管道施工管理	(1) 识别第三方施工损伤管道的风险，建立第三方施工台账； (2) 根据第三方施工相关规定，对第三方施工及管道保护方案进行初步审查	对第三方施工作业进行监护	对第三方施工关联段管道保护工程进行验收归档
5	防汛及地质灾害管理	(1) 识别防汛重点地段和隐患； (2) 防汛物资管理； (3) 填报防汛周报	(1) 制订本站的防汛工作方案； (2) 编制防汛工作总结； (3) 防汛应急管理(编制(修订)防汛预案、防汛演练)； (4) 地质灾害风险识别	(1) 汛期巡线与抢修； (2) 地质灾害监控
6	管道占压管理	组织排查管道占压，建立台账	及时制止管道新增占压	参与管道占压清理
业务模块三：管道完整性管理				
1	管道高后果区管理	高后果区识别	高后果区管理	
2	管道风险评价数据收集与整理	管道风险评价数据收集与整理		
业务模块四：管道应急管理				
1	应急预案	(1) 制订站外管道应急预案演练计划和演练方案并将计划上传到 PIS 系统； (2) 培训、报备站外管道应急预案	(1) 编制、修订站外管道应急预案； (2) 组织或参与相关应急预案演练	组织应急预案演练后评价，撰写演练总结
2	应急响应	应急预案响应		
业务模块五：管道管理系统使用				
1	PIS 系统使用	(1) 熟练使用 PIS 系统填报、审核各项工作； (2) 对系统数据进行更新		
2	GPS 系统使用	使用 GPS 巡检系统检查巡线员管道巡检情况		

第一部分 管道专业基础知识

第一章 阴极保护知识

阴极保护是利用电化学原理对金属结构物进行腐蚀防护的技术,该技术最早应用于1824年。那时,英国海军科学家 David 发现,当将两种不同的金属连接在一起并浸入电解质后,一种金属腐蚀加速,而另一种金属得到一定程度的保护。根据这一发现,他建议在舰船的铜制船底上安装铁或者锌对其加以保护,这是阴极保护的早期应用。

20 世纪初,油气管道的应用越来越广泛,而腐蚀问题变得非常严重。在 1920 年,美国新奥尔良州的 R. J. Kuhm 首次对埋地管道实施阴极保护。到 20 世纪 30 年代初期,美国几乎所有埋地油气管道都采用了阴极保护。1936 年,美国成立了“中州阴极保护协会”用来交流阴极保护技术,1943 年,该协会正式更名为“美国防腐蚀工程师协会”(NACE),该协会为全世界阴极保护技术的发展做出了重要贡献。

阴极保护在我国的应用始于 1958 年,首次应用于克拉玛依—独山子输油管道,到 20 世纪 60 年代,阴极保护已广泛应用于输油管道。自 20 世纪 90 年代末期,开始对储罐底板施加阴极保护。迄今,几乎所有输油气管道、储罐、海洋结构都施加了阴极保护。对输水管道、混凝土钢筋码头的阴极保护也逐渐展开。

第一节 概 述

一、防腐蚀的重要意义

自然界中,大多数金属是以化合态存在的。通过炼制,被赋予能量,才从离子状态转变成原子状态。然而,回归自然状态是金属固有的本性。我们把金属与周围的电解质发生反应,从原子变成离子的过程称为腐蚀。金属腐蚀广泛地存在于人们的生活中,以至于人们对其发生、发展熟视无睹。国外统计表明,每年由于腐蚀而报废的金属材料,相当于金属产量的 20%~40%,全世界每年因腐蚀而损耗的金属达 $1 \times 10^8 \text{ t}$ 以上。金属腐蚀直接地和间接地造成巨大的经济损失。据有关国家统计,每年由于腐蚀而造成的经济损失:美国约 5000 亿美元,平均每人 2000 美元;英国为国民生产总值的 3.5%;日本为国民生产总值的 1.8%。

大多数长输管道是埋地的,由于土壤中含有水分、空气、酸、碱和水溶性矿物盐以及微生物,这些因素都会使金属管道发生腐蚀。因此,必须采取防腐措施,以保证管道的使用寿命,减少由于腐蚀造成的经济损失。利用目前已知的防腐技术,可以挽回 30% 的腐蚀损失,因此,积极地进行腐蚀防护具有很大的经济意义。

二、金属的构成

金属是由原子构成的，原子是由原子核和绕原子核旋转的电子组成。原子核是由质子与中子构成，如图 1-1-1 所示。对于给定的原子，质子数等于电子数，原子不带电。将金属放入电解质中，金属阳离子受水中氢氧根离子的吸引，丢掉电子，进入溶液，生成腐蚀产物。而被丢弃的电子被溶液中氢离子俘获，生成氢原子，如图 1-1-2 所示。

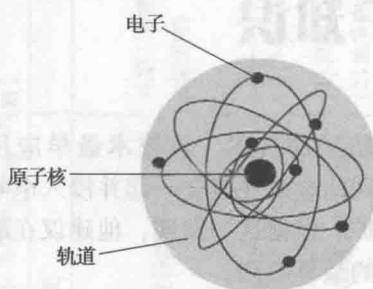


图 1-1-1 原子结构图

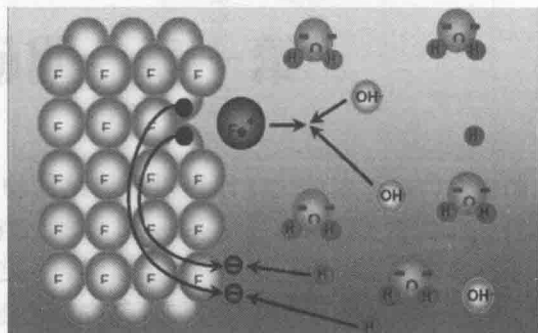


图 1-1-2 溶液中氢离子俘获电子

日常所见的金属多为合金，由不同原子组成，当把金属放入电解质中后，其表面各点的电位是不同的，电位的高低取决于金属内部结构及外部环境。电位较低的为阳极、电位较高的为阴极，电子将离开阳极向阴极移动，而位于阳极区的金属原子由于失去电子而成为带正电的离子进入电解质，与电解质中的负离子发生反应而形成腐蚀产物，金属发生腐蚀。在阴极区，由于存在多余的电子，金属不会发生腐蚀，化学反应在电解质中发生，如析氢，如图 1-1-3 所示。

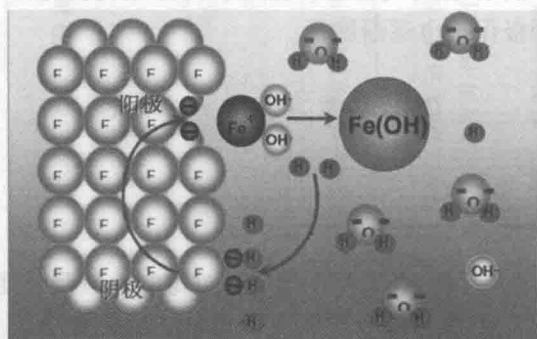
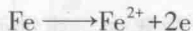
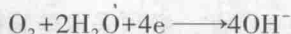
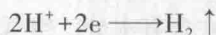


图 1-1-3 电解质中的金属腐蚀

(1) 阳极：在电化学反应中失去电子，发生氧化反应的电极。



(2) 阴极：在电化学反应中得到电子，发生还原反应的电极。



(3) 电解质：含有离子的溶液，一般指土壤、水、潮气等。

(4) 导体：电子迁移的途径(金属导体)。

当4个因素都存在时,就会发生腐蚀,而去除任意一个因素,腐蚀就停止。防腐层就是通过将金属与电解液隔离,去掉电解质而达到防腐的目的。

三、埋地管道金属腐蚀

埋地金属管道,不论是金属内部结构有差异还是外部环境条件有区别,都会造成金属管道上的各点电位不同,而电位的差异就是电流流动的驱动力,也是腐蚀的源泉。由于自然界中,环境条件差别比比皆是,也就造成了腐蚀无处不在,以至于我们对其发生也习以为常,熟视无睹。

1. 金属杂质引起的腐蚀

如果钢铁表面存在杂屑,与周围的金属相比,杂屑电位较正,为阴极;周围的金属电位较负,为阳极。阳极失去电子而发生腐蚀,通常会发生点蚀,如图1-1-4所示。

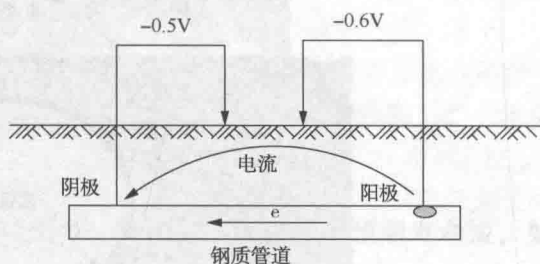


图1-1-4 金属杂质引起的腐蚀

如果不同的金属处于同一电解质并且电气连接,较活泼的金属电位偏负,发生腐蚀;电位较正的金属为阴极,得到保护。如钢制水管道上的铜阀门,钢管被腐蚀而铜阀门得到保护。管道不锈钢管箍用低碳钢螺栓固定,螺栓先腐蚀。

3. 氧浓差引起的腐蚀

在通气条件差(含氧量低)的环境下,钢结构对地电位较负,为阳极;而在氧气供应充分的位置,钢铁的电位较正,为阴极。如公路穿越处,由于沥青路面阻碍了氧气的供应,公路正下方氧气含量低,管地电位负,为阳极,发生腐蚀;而路两侧管道通气条件好,管地电位较正,为阴极,得到保护,如图1-1-5所示。

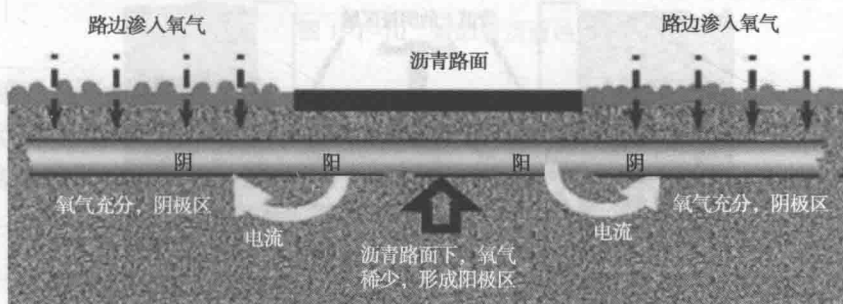


图1-1-5 氧浓差腐蚀

4. 含水量不同引起的腐蚀

处于含水量大的土壤中,含氧量小,金属为阳极,易发生腐蚀,当管道经过沼泽进入沙漠地带时,该现象尤为突出,如图1-1-6所示。

5. 土壤密实度引起的腐蚀

储罐或管道处于土壤不均匀的环境时,引起腐蚀,土壤密实处为阳极,如图1-1-7所示。

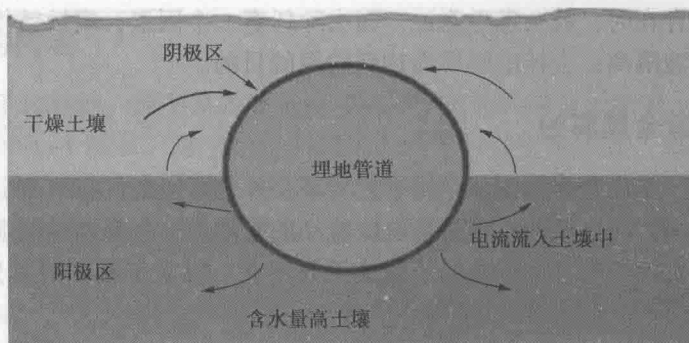


图 1-1-6 含水量不同引起的腐蚀

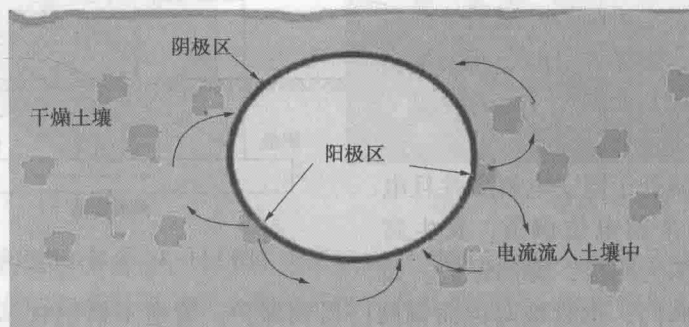


图 1-1-7 土壤密度引起的腐蚀

6. 混凝土界面上的腐蚀

管道进站、出站或在穿跨越，一般要安装混凝土固定墩，以防止管道在内应力作用下发生纵向或横向位移。由于混凝土呈碱性，混凝土包裹部分管道电位高，为阴极；而未包裹部分管道电位低，为阳极，发生腐蚀，如图 1-1-8 所示。

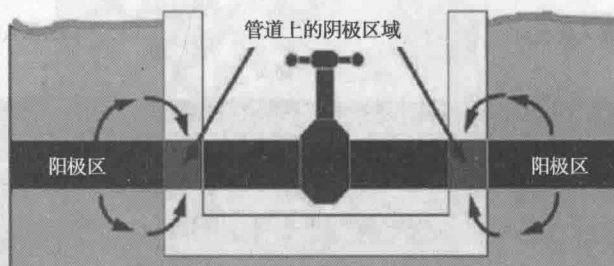
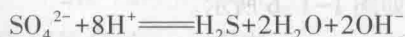


图 1-1-8 混凝土界面上的腐蚀

7. 硫酸盐还原菌腐蚀

(1) 当通气条件差时(如在黏土中或潮湿环境下)，硫酸盐还原菌可能会活跃，发生如下反应：



(2) 由于氢原子不断被消耗，需要更多的电子来产生氢原子，因此，腐蚀加剧。腐蚀特点是金属表面光亮并伴有臭鸡蛋味，如图 1-1-9 所示。



图 1-1-9 氢原子消耗引起的管道腐蚀

8. 新旧管道的腐蚀

在旧管道中换掉一段管，新换的管道电位偏负，易发生腐蚀，要比预期寿命短，如图 1-1-10 所示。

(1) 低碳钢(旧管道) 电位： $-0.50 \sim -0.20\text{V (CSE)}$ 。

(2) 低碳钢(新管道) 电位： $-0.80 \sim -0.50\text{V (CSE)}$ 。



图 1-1-10 新旧管道腐蚀

9. 土壤性质不同引起的腐蚀

管道经过不同性质的土壤时，将形成腐蚀电池，含盐量高的管段电位偏负，为阳极，发生腐蚀；含盐量低的管段电位偏正，为阴极，如图 1-1-11 所示。

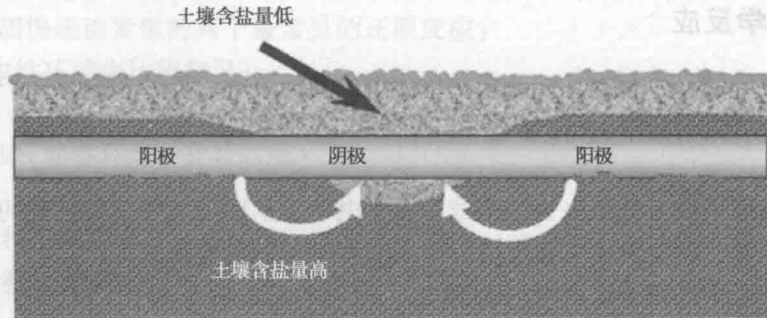


图 1-1-11 土壤性质不同引起的腐蚀

10. 杂散电流造成的腐蚀

杂散电流是沿规定路径之外流动的电流，它在土壤中流动，且与被保护管道系统无关。该电流从管道的某一部位进入管道，沿管道流动一段距离后，又从管道流入土壤，在电流流出的部位，管道发生腐蚀，称该腐蚀为杂散电流腐蚀。

11. 土壤酸碱度不同造成的腐蚀

(1) 酸度和碱度(pH 值)：当介质中的 H^+ 含量大于 OH^- 含量，则为酸性的。当介质中 OH^- 含量大于 H^+ 含量，则为碱性的。pH 值中性点为 7。酸性溶液的 pH 值低于 7，而碱性溶液的 pH 值高于 7。对于很多金属，pH 值低于 4 时，腐蚀速率显著增加。pH 值为 4~8 时，腐蚀速率与 pH 值无关。pH 值高于 8，环境变得有钝化性能，因此腐蚀速率下降。

(2) 铝、铅、锌的腐蚀速率在 pH 值高于 8 时，趋向于增加。这是由于这些金属表面的保护性氧化膜在很强的酸和碱中发生溶解，金属发生腐蚀。在低和高的 pH 值的情况下，都发生腐蚀的金属被称为两性金属。

(3) pH 值对于评价土壤的腐蚀性没有太大意义，但当怀疑有酸性污染时，应当对其进行测量。采用一般的 pH 值试纸就可以满足精度要求，如图 1-1-12 所示。

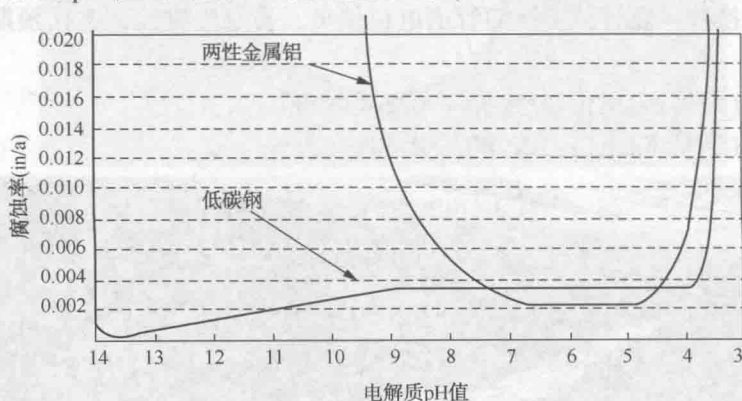


图 1-1-12 溶液 pH 值与腐蚀速率的关系

第二节 阴极保护原理

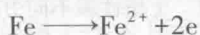
一、电化学反应

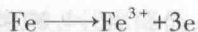
电化学是化学的一个分支，涉及化学反应中电荷的移动。腐蚀和阴极保护涉及在水或者其他溶液环境中的电荷转移。

1. 氧化

氧化定义为原子或者分子失去一个或者多个电子，从而形成一个带正电的离子。当原子和分子失去电子时，就会发生氧化反应。原子或者分子的负电荷减少。

例如，当一个中性粒子铁原子(Fe)氧化，将可能失去两个或者三个电子，生成铁阳离子(Fe^{2+} 或者 Fe^{3+})：

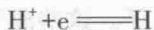




发生氧化的电极或者金属部位称为阳极。此处定义的氧化与氧没有必然的联系。

2. 还原

还原定义为原子或者分子得到一个或者多个电子，从而形成一个阴离子或者中性元素。当原子或者分子得到电子，发生还原反应。原子或者分子的负电荷增加。例如，氢离子(H^+)被还原，它将得到一个电子，生成一个中性的原子(H)：



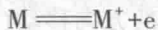
发生还原反应的电极或者金属的部位称为阴极。

二、电极反应

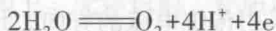
1. 阳极反应

在阳极上发生的化学反应，主要取决于阳极材料和环境条件。主要的化学反应有金属氧化、析氧和析氯。

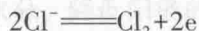
对于牺牲阳极阴极保护，主要的阳极反应是阳极金属的氧化。在中性土壤中，金属离子又和水中的氢氧根离子结合成氢氧化合物及氢离子。



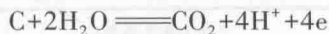
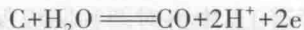
对于外加电流阴极保护，由于阳极材料多选用耐腐蚀材料，主要的化学反应是阳极周围负离子的氧化。当土壤中氯离子含量很低时，阳极反应主要是析氧。



当氯离子含量较高时，阳极反应为析氯，氯气和水反应产生次氯酸和盐酸。所以，析氯将降低溶液的 pH 值。



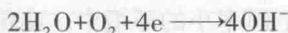
当用回填料后，化学反应发生在焦炭回填料上，无论如何，阳极反应都会降低阳极附近溶液的 pH 值，所以，阳极材料要具有耐酸的特性。



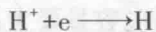
2. 阴极反应

发生在阴极的化学反应，是还原反应，还原是得到电子。发生的阴极反应取决于电解质。以下是在阴极表面发生的两个最常见的还原反应：

氧还原(中性环境中比较常见)



氢离子还原(酸性环境中比较常见)



阴极反应和阳极反应可以发生在不同金属上或同一金属的不同部位。腐蚀电池的阳极发生腐蚀，阴极不发生腐蚀。

三、电化学腐蚀电池

图 1-2-1 表示基本的电化学腐蚀电池。电池中的各个部分在以后讨论。

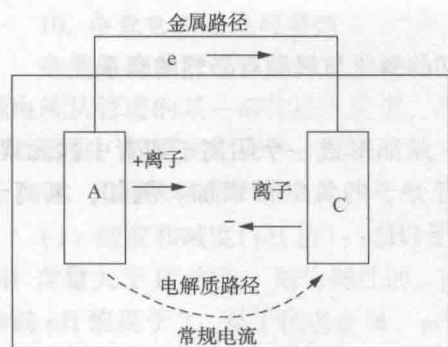


图 1-2-1 电化学腐蚀电池

1. 电解质

电解质是具有导电性的离子溶液。

2. 电离

除了在氧化和还原反应中可以产生离子，离子也可以由离子化分子的电解而存在于电解质中。阳离子是带正电荷的离子，阴离子是带负电荷的离子。这些离子可以载流。因此，电解作用越强的电解质，其导电性也越好。

3. 腐蚀电池

腐蚀是一种含有电子和离子移动的电化学过程。

金属的损失(腐蚀)发生在阳极。阴极没有金属的损失(阴极被保护)。

电化学腐蚀发生在腐蚀电池内，并伴随有电子的传输过程。一个腐蚀电池由阳极、阴极、电解质、金属通路4部分组成，如图1-2-1所示。

4. 电解质中的电荷传输

带电离子的运动是电解质导电的原理，它与固体金属导体中的电子运动不同。一方面，带正电荷的离子(阳离子)从阳极向阴极的方向移动(注：离子在阴极不会沉积出来)；另一方面，带负电荷的离子(阴离子)从阴极向阳极的方向移动。这种电荷的传输称为电解电流。离子相对比较重而且移动缓慢。因此，电解质具有比金属高的电阻率。这引起极化的现象。

5. 传统电流

在腐蚀和阴极保护工作中，采用传统电流的方向。传统电流的方向和正离子传输的方向一致，与负离子或电子的传输方向相反^[1]。

四、阴极保护方式

阴极保护是利用电化学方式对金属结构物进行腐蚀防护的技术，利用通电技术使金属表面各点电位达到一致，从而减缓腐蚀。实现阴极保护有两种方式：牺牲阳极阴极保护和外加电流阴极保护。因在《综合维修管道工》中有对两种阴极保护方式的详细讲述，本节只做简单介绍。

1. 牺牲阳极阴极保护

牺牲阳极阴极保护是将活性不同的两种金属连接后，处于同一电解质中，利用不同金属的电位差异，活性强的金属失去电子受到腐蚀，而活性差的金属得到电子受到保护。由于这一过程中，活性强的金属被腐蚀，所以称为牺牲阳极阴极保护。

牺牲阳极常用于电流需求小、土壤电阻率小的环境中，或用于结构的局部保护^[1]。

牺牲阳极材料应具有：电位足够负但不宜太负，以免阴极区产生析氢反应；阳极的极化率要小，电位极电流输出要稳定；阳极材料电容量要大；必须有高的电流效率；溶解均匀，容易脱落；材料价格低廉，来源充分。

通常使用镁、锌、铝3种材料制作牺牲阳极。

镁阳极具有高驱动电压、低电流效率、高造价的特点，多用于电阻率大于 $15\Omega \cdot \text{m}$ 的土壤或淡水环境中。镁阳极的电流效率因环境不同有所变化，土壤或水中含盐量低时，电流输出小，自身腐蚀相对较大。土壤电阻率高时，阳极输出电流小，阳极表面容易发生钝化，阳