

石油工人丛书



油气管道阴极保护

石油工业出版社

油田工人自学丛书

油气管道阴极保护

唐明华 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从引起金属腐蚀的机理入手，系统地论述了如何防止与控制地下油、气管道的腐蚀问题，着重对牺牲阳极和外加电流阴极保护的两种阴极保护方法，保护系统的运行管理及维护作了详细介绍。

本书可供从事管道施工、运行管理和防腐的工人阅读，也可作为石油化工、给排水等专业的管理人员和技术工人的培训教材和参考资料。

油田工人自学丛书 油气管道阴极保护

唐明华 编著

石油工业出版社出版
《北京安定门外东后街甲36号》
轻工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 10⁸/₈印张 227千字 印1—1,200
1986年9月北京第1版 1986年9月北京第1次印刷
书号：15037·2654 定价：1.30元

出版说明

油田工人自学丛书是为各油田刚从事采油工作的青年工人熟悉和掌握本职专业技能的普及性技术读物。为了适应各种工人不同的学习重点，该丛书将根据采油专业分工情况分册出版。丛书共包括：采油（上、中、下）三册，修井（上、下）二册，抽油井示功图的测试和分析、试井、油层压裂、油气井酸化、原油脱水、天然气（伴生气）加工、原油矿场集输、输油管道阴极保护等分册。

这套丛书一部分是我社从前出版的各工人读本经修订而成，一部分是新组织编写的。今后还将根据需要陆续组织编写采油专业其它技术读物，以满足广大采油工人更广泛地学习要求。

本书列入《油田工人自学丛书》时，原订书名《输油管道阴极保护》，现改名为《油气管道阴极保护》。

前 言

输送油、气的管道大都处于复杂的土壤环境中，极易遭受腐蚀。一旦管道被腐蚀穿孔，就会造成油、气漏失，输送中断，污染环境，并可能引起火灾，造成危害。所以，如何防止埋地管道的腐蚀损坏，长期以来就是管道工程中的一个重要环节。作为管道防腐工作者，应对油、气管道腐蚀产生的原因和危害性有所了解，切实掌握防止管道腐蚀的方法和措施。

油、气管道阴极保护防蚀法，在我国60年代初期开始试验和应用。它具有投资省、经济效益高等优点，是管道防腐行之有效的先进技术。笔者根据自己20余年阴极保护的实践编写了此书。在外加电流阴极保护，管道牺牲阳极，杂散电流的腐蚀与防止，管道阴极保护电气测量方法等方面，有一些新的认识。这些观点和方法在管道阴极保护工程实践中已被证明是正确的和有效的。因此，本书可供从事管道防腐工作的同志们日常工作参考。

本书特请大连工学院火时中教授全文审阅，提出了不少宝贵意见，使作者获益不浅，在此表示感谢！

在编写过程中参阅了不少有价值的资料，其中有些内部资料，由于没有公开发表，无法列入参考文献，特向有关作者表示歉意！

本书所阐述的内容，由于经验和水平有限，不足之处在所难免，恳切希望读者指正。

编者

一九八五·四

目 录

第一章 油、气管道的腐蚀	(1)
第一节 防腐工作的重要意义	(1)
一、腐蚀的现实性	(1)
二、腐蚀的危害	(2)
三、防腐工作的意义	(3)
第二节 金属腐蚀简述	(5)
一、金属腐蚀	(5)
二、金属电化学腐蚀基本概念	(9)
第三节 油、气管道的腐蚀	(22)
一、腐蚀原因	(23)
二、防腐方法	(31)
第二章 油、气管道阴极保护	(38)
第一节 阴极保护基本原理	(39)
一、基本原理	(39)
二、外加电流阴极保护	(43)
三、牺牲阳极保护	(45)
第二节 阴极保护方式选择	(46)
一、基础资料的收集	(46)
二、两种阴极保护方式的比较	(49)
三、阴极保护的使用条件	(50)
四、阴极保护方式选择	(51)
第三节 影响阴极保护效率的几个参数	(52)
一、阴极保护标准 (最小保护电位)	(52)
二、最负保护电位	(54)
三、最小保护电流密度和防腐涂层电阻	(57)
四、管道电阻	(62)

第三章 外加电流阴极保护	(63)
第一节 阴极保护站	(64)
一、电源设备	(64)
二、站外设施	(68)
第二节 油、气管道阴极保护常用公式及计算	(94)
一、基本计算公式	(94)
二、计算举例	(109)
第三节 增长保护范围的措施	(114)
一、原理	(114)
二、有屏蔽接地的阴极保护装置	(115)
三、有阴极接地装置的阴极保护 (反电位装置)	(116)
第四章 阴极保护电源	(118)
第一节 整流器与恒电位仪	(118)
一、硅整流器	(118)
二、可控硅恒电位仪	(127)
第二节 铅酸蓄电池	(133)
一、起动用铅酸蓄电池充电及维护	(134)
二、汽车起动用铅酸蓄电池规格	(137)
第三节 其它电源	(138)
一、风力发电机	(138)
二、硅太阳能电池	(140)
三、热电发生器	(144)
第五章 油 气管道牺牲阳极保护	(146)
第一节 常用牺牲阳极	(146)
一、牺牲阳极材料性能要求	(147)
二、土壤中常用牺牲阳极的成分及特性	(147)
三、填包料的成分和配比	(160)
四、镁、锌、铝合金阳极性能比较	(164)
第二节 牺牲阳极的应用	(167)

一、牺牲阳极的保护范围	(167)
二、牺牲阳极发生电流及接地电阻	(169)
三、牺牲阳极重量和使用年限	(175)
四、牺牲阳极埋设间距及数量的确定	(175)
五、注意事项	(178)
六、应用举例	(180)
第三节 施工与检测	(183)
一、基本要求	(183)
二、袋装牺牲阳极的制作	(184)
三、施工程序	(187)
四、牺牲阳极保护参数测定	(188)
第六章 杂散电流腐蚀及防止	(192)
第一节 杂散电流腐蚀原理	(192)
一、地中杂散电流	(192)
二、杂散电流腐蚀机理及危害性	(193)
第二节 杂散电流腐蚀的防护	(201)
一、直流杂散电流腐蚀调查及测试	(201)
二、直流干扰腐蚀的防护措施	(204)
第三节 油、气管道交流干扰影响及防护	(215)
一、交流干扰电压成因及分析	(215)
二、交流腐蚀	(217)
三、管道磁干扰电压与简化算法	(219)
四、安全指标	(223)
五、管道交流干扰的防护措施	(225)
第七章 阴极保护的运行管理	(229)
第一节 阴极保护系统运行管理	(229)
一、阴极保护站投入前的准备工作	(231)
二、阴极保护站生产管理	(232)
三、牺牲阳极的维护	(237)

第二节	管道阴极保护系统常见故障判断及处理	(238)
一、	阴极保护管道漏电	(238)
二、	阴极保护站常见故障判断及处理	(244)
第三节	阴极保护的经济性	(245)
一、	评价阴极保护经济性的方法	(245)
二、	实例	(247)
第八章	电气测量	(250)
第一节	综述	(250)
一、	野外电测目的	(250)
二、	电气测量内容	(251)
三、	电气测量的技术要求	(252)
第二节	土壤腐蚀性的测定	(257)
一、	油、气管道土壤腐蚀勘察	(257)
二、	综合评价土壤腐蚀性	(258)
三、	土壤腐蚀性的测定	(261)
第三节	管道防蚀的电气测试	(270)
一、	电压测量	(270)
二、	电流测量	(293)
三、	电阻测量	(302)
四、	管道防腐涂层电阻测试方法	(305)
五、	埋地管道防腐涂层漏敷点的寻找	(306)
附录一	法定计量单位, 部分常用量和单位名称符号新	
	旧对照表	(309)
附录二	指数函数及双曲线函数的数值	(316)
参考文献	(321)

第一章 油、气管道的腐蚀

第一节 防腐工作的重要意义

一、腐蚀的现实性

在工业现代化发展的今天，人们对石油、天然气及其产品的需求日益增多，而油、气产地与消费中心位置的不一致性，常常需要采用长距离的管道运输。从偏僻的矿区到繁华的都市，油、气管道翻山越岭、穿河跨谷，敷设在变化十分复杂的环境中，遭受着腐蚀介质的侵袭。据我国大庆油田1980年不完全统计，全油田管道腐蚀穿孔达1905次，其中开采最早的采油一厂管道腐蚀损伤总长度达266.3公里，占该厂全部管道的26.4%。因此从油、气管道安全生产角度看，金属腐蚀无疑是一个重大的现实问题。如果我们把视野扩展到整个国民经济中去，则会发现，在日常生活中几乎所有金属物品都会遇到各种各样的腐蚀。例如菜刀、铁锅放置久了不用要生锈；缺乏维护的机器、设备要生锈；长久浸泡水中的舰船外壳要生锈等等。诸如此类现象遍及各行各业，成为国民经济中的一个灾难性问题。长期以来人们就用种种方法与金属腐蚀作斗争。随着现代工业的发展，腐蚀与防护（严格地讲应该是腐蚀与腐蚀控制）已成为一门新兴的独立学科。腐蚀学是研究材料在环境（主要是介质）作用下的破坏

机理和防护技术的学科。也是奠基于金属学与物理化学两门学科之上，综合了机械、冶金、力学、生物学等等有关知识的一门边缘科学。它的主要目的就是采用恰如其分的材料和必要的防护措施，控制腐蚀对人类的危害。

二、腐蚀的危害

金属腐蚀给人类造成的危害是巨大的，一般认为有以下几个方面：

（一）直接损失

金属材料由于腐蚀遭受巨大的消耗，据估计每十吨钢铁设备约有三吨因腐蚀而报废，其中一吨变为完全无用的铁锈。直接损失除材料价值外，还包括设备的造价和由于控制腐蚀而采用高价合金，各种防蚀涂层、缓蚀剂、电化学保护、监测、试验等费用。这类损失虽然难于得到精确数字，但可以大致统计出来。据有关资料报导，世界各国每年仅管道腐蚀造成的美元损失，美国为20亿，英国为17亿，西德为33亿，日本为33亿。

（二）间接损失

金属设备或金属结构腐蚀损坏会造成整个工厂停产。若因此工厂的停产殃及其他工厂停产，发生了所谓的恶性连锁反应，则这种损失是巨大的。如发电厂锅炉炉管高温腐蚀引起爆炸，换一根不过几百元，但造成了附近大批工厂停产，其损失每小时就要以万元计算。

（三）事故和污染损失

管道、设备的腐蚀，加剧设备和结构的损坏，造成原材料或产品的跑、冒、滴、漏，污染环境，危害人民健康。

军械、船艇、飞机等的腐蚀破坏，不仅贻误战机，影响

战局，还可能产生血的教训。

输送易燃、易爆物品的管道，突发性腐蚀事故还经常引起伤亡。大量漏失的可燃流体（油、气）会引起爆炸和火灾。例如：四川气田某天然气输送管道因腐蚀穿孔爆炸着火，除造成人员伤亡、设备毁损的直接损失外，同时还因天然气输送中断，造成几十家大型工厂突然停产，其经济损失高达上千万元。

（四）阻碍新技术的发展

科学技术的发展促进生产率的提高，但是如不解决腐蚀问题，一些重大新技术的应用就会受到阻碍，甚至长期不能实现。例如：不锈钢的发明和应用，推动了硝酸、合成氨工业的大发展。近年来，如核反应堆、核电站、石油化工厂等都是不断研究腐蚀控制中获得前进的。美国阿波罗登月飞船因贮存 N_2O_4 的高压容器产生应力腐蚀破裂，引起腐蚀事故。经过科学研究，在容器中加入约0.6%NO，腐蚀得以解决。美国专家认为，如找不到这个解决办法，登月计划将会推迟若干年。

（五）浪费资源

在工程设计中，因考虑腐蚀因素而采取较大的安全系数，这是普遍存在的现象。例如，工业管道、船体钢板、化工容器等，材料厚度常常含有腐蚀裕量。这就增加了材料的使用和能源的消耗，浪费了地球上有限的宝贵资源。

三、防腐工作的意义

由于腐蚀是金属设施的常见病、多发病、慢性病。常常在不知不觉间造成金属设备、构件的破坏，因而也容易为人们所忽略。故曾经在一段时期内没有受到人们的足够重视。

1969年英国科学家霍尔发表了有名的腐蚀损失调查报告，引起了资本主义世界的震惊，感到金属腐蚀确已成为国民经济灾难性的问题，必须予以高度重视。表 1-1-1 是几个主要工业发达国家年腐蚀损失统计数据。

表 1-1-1 腐蚀损失调查统计表

国 家	腐蚀损失	占国民生产总值%	统计时间
美 国	700亿美元	4.2	1975年
英 国	13.65亿英镑	3.5	1969年
日 本	92亿美元	1.8	1977年
西 德	90亿美元		1977年
苏 联	163亿美元	2	1976年
加 拿 大	10亿美元	3	1970年

美国近年来做过一次各种灾害损失的统计：其中地震每年损失 4 亿美元，水灾 4.3 亿美元，风灾 7 亿美元，火灾 110 亿美元，汽车事故所造成的损失为 300 亿美元，金属腐蚀损失 700 亿美元。这些统计数字说明金属腐蚀造成的损失遥居各类灾害损失的首位。它无声无息地蚕食金属，威胁生产安全，酿成灾祸事故，是经济建设之大敌。所以腐蚀危害的严重性已不再是一个单纯的经济问题，而且是一个严重的社会问题。

因此，防腐工作的重要意义在于，控制腐蚀灾难的发展，消除腐蚀事故和环境污染，增产节约，促进新技术、新工艺的开发。所以我们必须充分认识到腐蚀控制的必要和防腐工作对国民经济的重要意义。努力学习腐蚀与防护这门学科的一些基本知识，为实现我国的四个现代化作出贡献。

第二节 金属腐蚀简述

一、金属腐蚀

(一) 腐蚀的本质

现代腐蚀科学认为“腐蚀”这个术语的含义是“所有物质（包括金属和非金属）由于环境引起的破坏。”若仅就金属而言则可简述为：

在周围介质的化学或电化学反应下，并且经常是在物理因素或生物因素的综合作用下，金属由元素状态转为离子状态所引起的破坏，叫做金属腐蚀。

自然界中金属通常都是以矿石形式存在，即以化合物的形式存在。现以铁为例：在自然界中铁矿石的成分多是 Fe_2O_3 ，而铁被腐蚀后的产物——铁锈的主要成分也是 Fe_2O_3 。由此可见，铁的腐蚀过程就是元素态的金属铁回复到它的自然状态——矿石的过程。从能量的观点看，化合物经过冶炼还原出金属是吸热过程，需要提供大量热能才可完成。即金属状态的铁比矿石中的铁具有较高的自由能。因而存在着放出能量，变为能量更低、更稳定状态——矿石的趋向。铁矿石转化成金属铁吸收的能量相当于铁被腐蚀形成同样的化合物时所放出的能量，只不过吸收和放出能量的速度不同而已。放出能量是产生腐蚀的推动力，放出能量的过程就是腐蚀过程。金属腐蚀倾向亦可用矿石冶炼成金属时所消耗能量的大小来判断，冶炼时消耗能量大的金属较易腐蚀，消耗能量较小的金属不易腐蚀。如铁（Fe）冶炼时消耗能量大就容易腐蚀，而金（Au）则难腐蚀。因为在自然

界中它可以单质的形式存在（如砂金）。

如上所述，金属腐蚀的本质就是金属由元素状态返回自然状态——矿石的过程。换句话说，腐蚀是一个自然过程，几乎所有暴露在自然界的材料都会随着时间的流逝而变质。因此腐蚀是一种普遍存在的自然现象。

（二）金属腐蚀分类

1. 按金属腐蚀破坏形式分类

（1）全面腐蚀：指腐蚀分布在整个金属表面上有两种情况，即均匀腐蚀和不均匀腐蚀。

（2）局部腐蚀：指腐蚀集中在金属表面的一定区域，而其它区域则几乎不受腐蚀或轻微腐蚀。这种类型的腐蚀形式较多。如坑点腐蚀、溃疡腐蚀、选择性腐蚀、晶间腐蚀、腐蚀开裂、氢鼓泡或氢脆等。

按照腐蚀破坏形式分类，可以识别各种腐蚀现象，从而追索其原因和机理。

2. 按金属腐蚀破坏机理分类

（1）化学腐蚀：金属与周围介质直接发生化学反应而引起的损失称为化学腐蚀。

化学腐蚀主要包括金属在干燥气体中的腐蚀和金属在非电解质溶液中的腐蚀。例如：金属在铸造、轧制、热处理等过程中发生的高温氧化。化学腐蚀的特点是在腐蚀作用进行中没有电流产生。

（2）电化学腐蚀：（纯粹的电化学失重腐蚀）

金属和外部介质发生电化学作用而引起的破坏称为电化学腐蚀。它的特点是腐蚀过程中有电流产生。

（3）电化学和机械作用共同产生的腐蚀：如应力腐蚀破裂、腐蚀疲劳、冲击腐蚀、磨损腐蚀、气穴腐蚀等等。

(4) 电化学和环境因素共同作用产生的腐蚀：如大气腐蚀、水和蒸汽腐蚀、土壤腐蚀、杂散电流腐蚀、细菌腐蚀等等。

按金属腐蚀破坏机理分类，一般情况都是以电化学理论为基础，把由于电化学作用单独引起的腐蚀和电化学、机械作用、环境因素共同引起的腐蚀都归并到电化学腐蚀范畴内，因此金属腐蚀实质上分为电化学腐蚀和化学腐蚀两大类。

目前，对于腐蚀分类方法还没有统一的意见，如果把各种各样的腐蚀加在一起，大概有五十几种。为掌握腐蚀与防护各方面的基本概念，我们应当不拘泥于某种分类方法，而应从各方面进行研讨。

(三) 腐蚀程度的评定

表 1-2-1 均匀腐蚀十级标准

耐蚀性类别	耐蚀性等级	腐蚀深度，毫米/年
I 完全耐蚀	1	<0.001
II 很耐蚀	2	0.001~0.005
	3	0.005~0.01
III 耐蚀	4	0.01~0.05
	5	0.05~0.1
IV 尚耐蚀	6	0.1~0.5
	7	0.5~1.0
V 欠耐蚀	8	1.0~5.0
	9	5.0~10.0
VI 不耐蚀	10	>10.0

1. 均匀腐蚀的评定

一般分十级标准和三级标准两种。见表1-2-1、表1-2-2。

表 1-2-2 均匀腐蚀三级标准

耐蚀性评定	耐蚀性等级	腐蚀深度, 毫米/年
1 耐 蚀	1	<0.1
2 可 用	2	$0.1\sim 1.0$
3 不可用	3	>1.0

从上面两个表看来, 十级标准分得太细, 三级标准在一些要求严格的场所又往往过于粗略。因此对于材料耐蚀性的评定, 一定要根据具体情况而定。不过腐蚀率 ≤ 0.1 毫米/年时, 一般公认是耐蚀的。

2. 局部腐蚀的评定

局部腐蚀的种类很多, 这里仅对点蚀类型的腐蚀评定介绍如下:

(1) 点蚀系数表示法: 如图1-2-1所示, 最深的腐蚀孔的深度 d 和全面腐蚀深度 D 之比为点蚀系数。点蚀系数越大, 表示点蚀程度越严重。全面均匀腐蚀时点蚀系数为1。

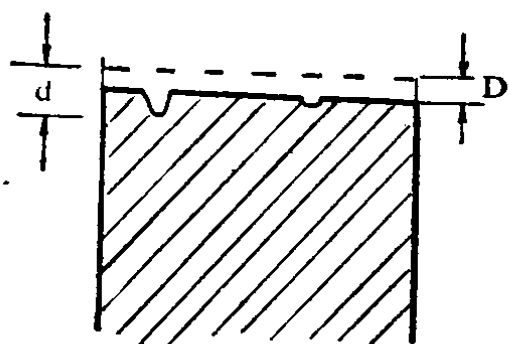


图 1-2-1 点蚀系数表示法

表示这一体系的点蚀深度。

(3) 综合表示法: 这种方法是最大腐蚀深度(毫米)或单位时间内的最大腐蚀深度(毫米/年)与单位面积上的