

■ 胡士信 廖宇平 王冰怀 主编

管道防腐层 设计手册

*HANDBOOK OF
PIPELINE
COATING
DESIGNING*



化学工业出版社

■ 胡士信 廖宇平 王冰怀 主编

管道防腐层 设计手册

*HANDBOOK OF
PIPELINE
COATING
DESIGNING*



化学工业出版社

· 北京 ·

埋地钢质管道的腐蚀控制公认的技术是防腐层加阴极保护,本书讨论管道防腐层的防蚀原理、防腐层的发展、防腐层的制作、防腐层性能和检测。管道防腐层是个系统工程,是由管体防腐层和补口防腐层组合而成的。针对补口技术这一薄弱环节,本书就其现状、发展给以介绍。

本书在重点介绍常用管道防腐层(如 3LPE、FBE 和 DPS 防腐层)及技术进步的基础上,还对当前处于研发和推广应用阶段的新技术加以讨论,如氟碳涂料、聚氨酯涂料和聚脲涂料,对于国外近些年开发并应用的三层粉末(high performance component coating, HPCC)防腐层也有讨论。

管道风险评价是当今管道完整性管理体系中不可缺失的内容,在风险评价中,防腐层的检测又是必不可少的,本书也给予了讨论。

本书理论和实践相结合,书中内容是著者多年设计、科研和技术实践的总结,可供油气储运、市政工程设计及工程技术人员使用,也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

管道防腐层设计手册/胡士信,廖宇平,王冰怀主编.
北京:化学工业出版社,2007.6
ISBN 978-7-5025-9612-5

I. 管… II. ①胡…②廖…③王… III. 管道防腐-设计-手册 IV. U177-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 103018 号

责任编辑:顾南君

文字编辑:咎景岩

责任校对 郑捷

装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 33 $\frac{1}{4}$ 字数 819 千字 2007 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:70.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2007—51 号

前 言

中国是世界上开采与利用石油、天然气最早的国家，记载有中国古代石油和天然气的史书不下数十种。管道输送天然气的历史可追溯到公元前 200 多年的秦汉时期。史书上记载的“筦”就是中国古代的管道。与现代钢质管道不同，古代用打通的竹节连接起来做管道，用于输送天然气和卤水，这是中国的发明创造。

随着科学技术的发展，现代管道运输已成为中国国民经济五大运输方式之一，是油气开采、加工和销售各环节的纽带。据不完全统计，截至 2003 年底，中国油气管道累计长度 45865.89km（未包括中国台湾、中国香港的管道），其中原油管道 15915.3km，天然气管道 21298.85km，成品油管道 6525.04km，海底管道 2126.7km。现代管道均采用钢材制造，埋地或水下敷设，这就意味着管道从它埋入地下之时起就无时无刻不在腐蚀，管道的发展史也就成了人们与腐蚀作斗争的进步史。中国现代管道业已进入快速发展时期，新建管道的运行寿命应在 50 年以上。实践证明，腐蚀工程师是在利用无形的科学技术为国家创造有形的财富。

管道的腐蚀控制公认的技术是防腐层加阴极保护，我们在 1999 年通过化学工业出版社以《阴极保护工程手册》一书将阴极保护防蚀技术介绍给了读者，现在通过本书再将防腐层的防蚀技术介绍给读者。在本书中，我们将讨论管道防腐层的防蚀原理、防腐层的发展、防腐层的制作、所需的防腐层性能和检测。管道防腐层是个系统工程，是由管体防腐层和补口防腐层组合而成的。防腐层补口技术是防腐层技术的薄弱环节，本书将力所能及地把补口技术方面的现状、发展给以介绍。作为防腐层设计者，除了对防腐层技术精通之外，还应对外阴极保护技术有所了解，为此本书保留了《阴极保护工程手册》中“金属腐蚀的电化学原理”和“阴极保护原理”两章。在本书的附录部分将把国外常用防腐层的技术标准介绍给大家，以充分体现本书的设计手册功能。

管道防腐层的英文表述为 pipe coating，原意为外套、覆盖的意思，形象的直译就是给管道穿上了外衣，所以在 SYJ30《埋地钢质管道及储罐防腐蚀工程基本术语》标准中，依据国内诸多业界专家们的意见，将此词定义为“覆盖层”，又称“防腐层”，在该标准中废除“涂层”的用语，但因习惯所致，至今仍有很多人在用“涂层”一词。为了使读者容易理解，本书采用了“防腐层”一词。

国内的管道防腐层和国外一样，经历了石油沥青、聚乙烯、环氧树脂几个阶段，本书在重点介绍常用防腐层及技术进步的基础上，还对当前处于研发和推广应用阶段的新技术加以讨论，如氟碳涂料、聚氨酯涂料和聚脲涂料。然而，技术发展永无止境，国外近些年又开发并应用了三层粉末（high performance component coating, HPCC）防腐层，可能代表了防腐层的新动向。

管道风险评价是当今管道完整性管理体系中不可缺失的内容，在风险评价中防腐层的检测又是必不可少的，为此，我们增加了一章。由于我们对此项技术理解还不够深，手中资料有限，所以在本书中只是理念的引入。

全书共分 18 章，参加编写的有胡士信和徐快（第 1、2、4、15 章）、廖宇平（第 3、5、6、9 章）、张本草（第 7、11、18 章）、李莲（第 8 章）、王贵涛（第 10 章）、窦宏强（第 16

章，并对第 10 章进行了修改)、胡莹(第 17 章)、孙晶和李维绪(第 12、13、14 章)、张国洲(参与了第 12 章的编写)、权忠舆(附录部分)。全书由三位主编(胡士信、廖宇平、王冰怀)进行全面的统稿、定稿。

在这里我们要十分感谢石薇同志，她为本书收集了大量的资料，就在她出国学习前一天还为本书尽力。徐昌学同志为本书的新技术内容提供了大力支持，组织人员编写了第 12、13、14 等章；陈学江、李秀桂同志为本书部分章节进行了认真负责的审查和补充；高红同志为本书成稿给予了有力的支持，在此表示感谢。

化学工业出版社对本书的出版和发行给予了大力支持，在此谨表诚挚的谢意。

尽管我们为本书的编写倾尽全力，但由于作者专业水平所限，书中疏漏在所难免，敬请读者在谅解的同时不吝批评指正。

胡士信 徐 快
2007 年春节于廊坊

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 腐蚀与防护的意义	1
1.2 腐蚀的定义及类型	5
1.2.1 腐蚀的定义	5
1.2.2 腐蚀的分类	5
1.3 腐蚀程度的评定	8
1.3.1 全面腐蚀的评定	8
1.3.2 局部腐蚀的评定	9
1.4 控制腐蚀的方法	10
1.4.1 控制腐蚀的关键环节	10
1.4.2 腐蚀的控制技术	10
1.5 管道防腐层发展史	12
1.6 天然气管道的减阻内涂技术	19
参考文献	20
第 2 章 金属腐蚀的电化学原理	22
2.1 概述	22
2.2 腐蚀反应的热力学	24
2.3 电位-pH 平衡图	27
2.3.1 E-pH 图的构成	27
2.3.2 E-pH 图中各区的意义	28
2.3.3 E-pH 图的优点和局限性	30
2.4 腐蚀的电化学机理	33
2.4.1 原电池和电解池	33
2.4.2 浓差电池	35
2.4.3 阴极分反应和阳极分反应	35
2.4.4 金属腐蚀中电极的面积和电流密度	36
2.5 原电池和腐蚀电池	37
2.5.1 电池构成	37
2.5.2 过电位	39
2.6 腐蚀速率的图解分析法	41
2.7 腐蚀过程的阴极反应	43
2.7.1 概述	43
2.7.2 析氢反应	43
2.7.3 氧的还原反应	45
2.7.4 多个阴极反应的并存	47

2.8 阳极 $E-i$ 曲线	47
2.9 土壤中的腐蚀问题	48
参考文献	49
第3章 防腐层防蚀基础知识	50
3.1 防腐层的保护机理	50
3.1.1 隔离	50
3.1.2 钝化、磷化与缓蚀保护	51
3.1.3 牺牲保护	53
3.2 防腐层的缺陷、老化与失效	53
3.2.1 防腐层缺陷	53
3.2.2 防腐层老化	54
3.2.3 防腐层的使用寿命	55
3.3 防腐层的种类	56
3.3.1 有机防腐层	56
3.3.2 无机非金属防腐层	58
3.3.3 金属防腐层	60
3.4 常用管道防腐层	62
3.4.1 沥青基涂料	62
3.4.2 环氧粉末涂料	64
3.4.3 聚烯烃基防腐材料	66
3.4.4 防腐带与防腐胶带	68
3.4.5 收缩套(带)防腐材料	69
3.4.6 液体涂料	70
3.4.7 管道防腐层技术的最新进展	73
参考文献	74
第4章 管道阴极保护技术	76
4.1 国内外的阴极保护技术史	76
4.2 阴极保护原理	79
4.3 阴极保护参数	81
4.3.1 保护电位	81
4.3.2 保护电位准则	81
4.3.3 保护电流密度	84
4.3.4 最佳保护状态	86
4.4 阴极保护的方法	87
4.4.1 牺牲阳极法	87
4.4.2 强制电流法	88
4.4.3 排流保护	88
4.4.4 阴极保护方法的选择	88
4.5 阴极保护条件	89

4.5.1 适用范围	89
4.5.2 阴极保护条件	90
4.6 阴极保护现状及展望	90
4.6.1 国内阴极保护现状	90
4.6.2 国外阴极保护现状	91
参考文献	93
第5章 防腐层基本要求	95
5.1 防腐层的基本要求	95
5.1.1 地下管道防腐层使用性能要求	95
5.1.2 防腐层的涂装性能	99
5.2 防腐层性能试验与性能测试	101
5.2.1 常用有机防腐层性能的研究评价方法	101
5.2.2 常用管道防腐层性能测试方法及相关标准	103
5.2.3 常用防腐层性能测试项目	110
5.3 防腐层选用的基本原则	115
参考文献	116
第6章 管道防腐层应用问题与技术发展	118
6.1 管道防腐层应用的问题	118
6.1.1 管道防腐层的失效	118
6.1.2 防腐管涂装质量问题	120
6.1.3 防腐补口、补伤等现场防腐层质量问题	123
6.1.4 阴极保护屏蔽	125
6.1.5 应力腐蚀开裂与防腐层失效	126
6.2 管道防腐层的设计选择	128
6.2.1 设计选择	128
6.2.2 防腐层标准问题	132
6.3 管道防腐层技术发展与新技术开发	134
6.3.1 管道防腐层技术沿革	134
6.3.2 表面处理技术	136
6.3.3 耐高温防腐层技术	137
6.3.4 防腐保温技术的进展	141
6.3.5 提高防腐层整体性	144
6.3.6 FBE防腐层技术进展	148
6.3.7 液体涂料技术进展	149
参考文献	152
第7章 已建管道防腐层的统计	154
7.1 概述	154
7.2 国内已建管道防腐层统计	154

7.2.1	石油沥青防腐层应用统计	154
7.2.2	FBE 类防腐层应用统计	155
7.2.3	煤焦油瓷漆防腐层应用统计	155
7.2.4	聚乙烯类防腐层应用统计	155
7.2.5	各类防腐层应用所占比例	155
7.3	国外管道防腐层调查	159
7.3.1	选用防腐层的原则	159
7.3.2	防腐层失效模式	160
7.3.3	防腐层与阴极保护相互影响	161
7.3.4	3LPE 防腐层	162
7.3.5	FBE 防腐层	164
7.3.6	防腐层的运行成本	166
7.3.7	结论	167
	参考文献	167
第 8 章	管道表面处理	168
8.1	表面处理的重要性	168
8.2	表面处理的影响因素	169
8.2.1	氧化皮的影响	169
8.2.2	表面污物的影响	169
8.2.3	可溶性盐的影响	169
8.2.4	粗糙度的影响	169
8.3	表面处理方法	170
8.3.1	概述	170
8.3.2	清洗	171
8.3.3	除锈	172
8.4	表面处理质量检测方法及评定	176
8.4.1	表面清洁度的评定	176
8.4.2	表面除油效果的评定	177
8.4.3	表面除锈等级的评定	178
8.4.4	表面粗糙度的评定	180
8.4.5	表面可溶性盐分的评定	182
8.4.6	表面凝露的评定	183
8.5	国内外表面处理标准节选	183
8.5.1	GB/T 13312—91 钢铁件涂装前除油程度检验方法（验油试纸法）	183
8.5.2	瑞典标准 SIS 055900—1967 涂装前钢材表面除锈标准	185
8.5.3	GB 8923—88 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级	187
8.5.4	DIN 4763 表面粗糙度参数的分级	189
8.5.5	DIN 4768 第 1 部分 用触针式电子仪器测定表面粗糙度参数 R_a 、 R_z 、 R_{max} （1974 年 8 月）	191
8.5.6	DIN 4768 第 1 部分增补 1 用触针式电子仪器测定表面粗糙度参数 R_a 、	

R_z 、 $R_{\max}$ (1978 年 10 月)	195
8.5.7 DIN 4769 第 1 篇 表面粗糙度比较样块 供应技术条件 (1972 年 5 月)	197
8.5.8 DIN 4769 第 4 篇 表面粗糙度比较样块 喷射金属表面 (1974 年 7 月)	200
参考文献	201
第 9 章 常用管道防腐层性能、施工与验收	202
9.1 管道防腐层涂装简介	202
9.1.1 车间涂装	202
9.1.2 现场涂装	212
9.2 石油沥青防腐层	213
9.2.1 材料及性能要求	213
9.2.2 涂装	215
9.2.3 质量检查	216
9.3 煤焦油瓷漆防腐层	218
9.3.1 材料及性能要求	218
9.3.2 涂装	220
9.3.3 质量检查	222
9.4 熔结环氧防腐层	223
9.4.1 单层熔结环氧防腐层材料及防腐层性能要求	223
9.4.2 双层粉末结构防腐层材料及防腐层性能要求	224
9.4.3 FBE 与 DPS 防腐层的涂装	225
9.4.4 FBE 及 DPS 防腐层的检验	227
9.5 聚烯烃防腐层	229
9.5.1 材料及性能要求	229
9.5.2 聚乙烯防腐层涂装	231
9.5.3 聚乙烯防腐层质量检验	232
9.6 塑料胶黏带防腐层	233
9.6.1 胶黏带材料和胶黏带防腐层的性能要求	233
9.6.2 胶黏带防腐层的涂装	235
9.6.3 胶黏带防腐层质量检查	236
9.7 液体环氧防腐层	236
9.7.1 液体环氧涂料和液体环氧防腐层性能要求	236
9.7.2 液体环氧 (煤沥青) 防腐层涂装	240
9.7.3 液体环氧 (煤沥青) 防腐层质量检验	243
9.8 硬质聚氨酯泡沫塑料防腐保温层	245
9.8.1 硬质聚氨酯泡沫塑料防腐保温材料 and 防腐保温层性能要求	245
9.8.2 硬质聚氨酯泡沫塑料防腐保温层涂装	247
9.8.3 防腐保温管质量检验	248
参考文献	249
第 10 章 防腐层的选用	251
10.1 防腐层的选用原则和因素	251

10.1.1 防腐层选择的基本原则	251
10.1.2 影响防腐层选用的基本因素	251
10.2 环境因素	252
10.3 材料性能因素	253
10.4 工程性质因素	256
10.5 输送介质因素	257
10.6 其他因素	258
10.7 经济性	258
10.8 防腐层选择新观点	259
参考文献	260
第 11 章 补口技术	261
11.1 概述	261
11.2 主要补口技术	262
11.2.1 热收缩套/带补口技术	262
11.2.2 熔结环氧粉末补口技术	266
11.2.3 液体环氧补口技术	268
11.2.4 3LPE 防腐层的液体环氧补口技术	269
11.2.5 聚氨酯涂料补口技术	273
11.2.6 3LPE 防腐层的 3PE 粉末补口技术	274
11.2.7 三层复合结构补口技术	276
11.2.8 煤焦油瓷漆补口技术	276
11.2.9 石油沥青补口技术	277
11.2.10 多层聚丙烯防腐层补口技术	277
11.3 补口质量检测技术	278
11.3.1 外观检测	278
11.3.2 厚度检测	278
11.3.3 检漏	278
11.3.4 附着力检测	278
11.3.5 剥离强度检测	279
11.3.6 热收缩套/带类补口的密封性	279
11.3.7 绝缘电阻试验	280
11.3.8 黏结相容性	281
11.3.9 耐水渗漏性	282
11.3.10 阴极剥离试验	282
11.4 补口技术的优选法	283
11.4.1 优选方案的确定	283
11.4.2 各因素及权重系数的确定	283
11.4.3 补口技术优选实例	284
11.5 补口技术新动态	286
参考文献	287

第 12 章 聚脲防腐层技术	289
12.1 概述	289
12.2 聚脲材料的定义	289
12.3 聚脲化学反应原理	290
12.4 聚脲涂料的主要原材料	291
12.4.1 异氰酸酯	291
12.4.2 端氨基聚醚和胺类扩链剂	291
12.4.3 其他助剂	292
12.5 喷涂设备	292
12.5.1 喷涂设备的基本构成	292
12.5.2 喷涂聚脲设备工作参数	294
12.6 聚脲涂料特点及优势	295
12.6.1 聚脲涂料的特点	295
12.6.2 聚脲防腐层技术优势	295
12.7 聚脲防腐层标准、施工及检验	296
12.7.1 聚脲防腐层技术标准	296
12.7.2 聚脲防腐层等级与厚度	297
12.7.3 聚脲防腐层技术指标	297
12.7.4 聚脲防腐层施工	298
12.7.5 聚脲防腐质量检验	300
12.8 聚脲涂料的应用	301
12.8.1 聚脲防腐层应用概况	301
12.8.2 聚脲防腐层在我国油气行业应用展望	302
12.8.3 聚脲防腐层应用应注意的问题	304
参考文献	305
第 13 章 聚氨酯防腐层技术	306
13.1 概述	306
13.1.1 聚氨酯涂料的定义	306
13.1.2 聚氨酯反应原理	306
13.1.3 聚氨酯涂料的发展历程	306
13.2 聚氨酯涂料的分类	307
13.2.1 按照涂料的包装分类	307
13.2.2 按异氰酸酯的种类分类	307
13.2.3 按涂料的分散介质分类	308
13.3 聚氨酯涂料特性	308
13.4 无溶剂聚氨酯涂料	309
13.4.1 执行标准	309
13.4.2 技术指标	309
13.4.3 防腐层的厚度	310

13.4.4	防腐层涂敷施工	310
13.4.5	无溶剂聚氨酯涂料的优势	313
13.4.6	无溶剂聚氨酯涂料在油气领域中的应用	313
13.5	丙烯酸聚氨酯耐候涂料	315
13.5.1	丙烯酸聚氨酯耐候涂料组分及技术指标	315
13.5.2	丙烯酸聚氨酯防腐层结构、厚度及性能指标	316
13.5.3	涂敷施工	316
13.5.4	质量检验	317
13.6	管道聚氨酯防腐涂料技术发展现状	318
13.6.1	手涂型聚氨酯管道涂料	318
13.6.2	喷涂型聚氨酯管道涂料	320
13.6.3	环氧聚氨酯管道防腐涂料	320
	参考文献	322
第 14 章	氟碳涂料防护技术	323
14.1	概述	323
14.1.1	定义	323
14.1.2	氟碳涂料的发展历程	323
14.1.3	氟碳涂料的分类	324
14.2	氟碳涂料特性	324
14.3	氟碳防腐涂料技术标准和指标	326
14.3.1	技术标准	326
14.3.2	技术指标	327
14.3.3	氟碳防腐层的等级、结构与厚度	328
14.4	氟碳涂料在油气工业领域中的应用	328
14.5	氟碳防腐层施工指南	331
14.5.1	基材表面预处理	331
14.5.2	氟碳涂料准备	331
14.5.3	涂装施工	331
14.5.4	质量检查	332
14.5.5	漆膜养护	332
14.5.6	记录	332
	参考文献	332
第 15 章	输气管道减阻内涂技术	333
15.1	国内外概况	333
15.2	减阻原理及计算	334
15.2.1	概述	334
15.2.2	输气量与输送压力的计算公式	334
15.3	西气东输工程采用减阻内涂技术的理论分析	340
15.3.1	概述	340

15.3.2	管道设计基础参数	340
15.3.3	工艺计算	342
15.3.4	经济比较	343
15.3.5	结论	345
15.4	减阻内涂技术的应用	345
15.4.1	减阻内涂涂料的选择	345
15.4.2	减阻内涂涂料国产化的研究	346
15.4.3	减阻内涂的设计	349
15.4.4	减阻内覆盖的涂敷	350
15.5	减阻内涂技术标准	351
15.6	技术展望	352
	参考文献	352
第 16 章	腐蚀经济学	353
16.1	引言	353
16.2	概述	353
16.3	经济学基础	354
16.3.1	资金的时间价值	354
16.3.2	资金等价与等值	354
16.3.3	符号和术语	355
16.3.4	资金等价计算公式	355
16.4	经济学的主要参数	358
16.4.1	利息与利率	358
16.4.2	费用和成本	358
16.4.3	折旧与残值	358
16.4.4	税金	360
16.5	经济分析方法	360
16.5.1	净现值	360
16.5.2	内部收益率	361
16.5.3	投资回收期 (P_t)	361
16.6	腐蚀经济分析方法	362
16.6.1	腐蚀经济学中的主要参数	362
16.6.2	费用现值法	363
16.6.3	费用年值法	365
16.7	尤立格 (H. Uhlig) 公式计算法	367
16.8	Verink 通用方程	369
16.9	结论	373
	参考文献	373
第 17 章	防腐层检测与风险评价	374
17.1	检测的目的	374

17.2 防腐层在线检测方法	375
17.2.1 管道内电流的测量	376
17.2.2 阴极保护电流密度和防腐层电阻率的测试	378
17.2.3 管道密间隔电位测量 (CIPS)	380
17.2.4 管内交变电流衰减法 (PCM)	382
17.2.5 直流和交流电位梯度的测量 (DCVG 和 ACVG)	383
17.2.6 管道防腐层皮尔逊检漏法	385
17.2.7 管道防腐层电化学检测法	386
17.3 外腐蚀直接评价法 (ECDA)	389
17.3.1 概述	389
17.3.2 外腐蚀的直接评价 (ECDA)	390
17.4 管道的风险评价	392
17.4.1 油气管道风险评价法简介	392
17.4.2 管道危害因素及评分指标	392
17.4.3 相对风险值的计算	395
17.4.4 风险评分与风险等级	395
17.5 风险评价中的防腐层检测	396
17.6 评价防腐层和阴极保护的例子	398
17.7 防腐层质量的评定	399
参考文献	399
第 18 章 国内外防腐层标准题录	400
18.1 国家标准	400
18.2 石油行业标准	401
18.3 国内企业标准	402
18.4 国外标准	403
附录	406
附录一 美国水工协会标准 ANSI/AWWA C203—02 钢质水管道煤焦油瓷漆保护 覆盖层和衬里——热涂瓷漆和缠带	406
附录二 美国腐蚀工程师协会标准 NACE RP 0399—99 工厂涂敷煤焦油瓷漆管道 覆盖层体系：涂敷施工、性能和质量控制	426
附录三 加拿大标准 CSA Z 245.20—02 钢管外壁熔结环氧树脂 (FBE) 覆盖层	432
附录四 美国腐蚀工程师协会标准 NACE RP 0394—94 工厂涂敷熔结环氧树脂 管道外覆盖层体系——涂敷施工、性能和质量控制	450
附录五 加拿大标准 CSA Z 245.21—02 钢管外壁聚乙烯覆盖层	469
附录六 德国标准 DIN 30671 (1992) 埋地钢管的热固性塑料覆盖层	485
附录七 德国标准 DIN 30670 (1991) 钢管和管件的聚乙烯覆盖层	493
附录八 美国腐蚀工程师协会标准 NACE RP 0185—96 埋地或水下钢管带有 软黏结剂的挤出聚烯烃树脂覆盖层体系	499
附录九 美国腐蚀工程师协会标准 NACE RP 0188—99 导电基体上新覆盖层的	

	不连续点（漏点）检测	504
附录十	美国腐蚀工程师协会标准 NACE TM 0102—2002 地下管道覆盖层电导率的测量	508

第1章 绪论

1.1 腐蚀与防护的意义

腐蚀学者柯伟院士在《腐蚀科学技术的应用和失效案例》序中指出：金属材料的腐蚀所导致的经济损失约占国民生产总值（GNP）的4%~5%；减少材料的腐蚀，不仅可以减少这种经济损失，还可减少环境污染，节约资源和能源。

人类文明的发展和物质生活的提高是与新材料的使用密切相关的。中华民族在金属材料的开发应用方面，在世界文明史中占有光辉的一页。根据考古发掘和历史记载，公元前两千多年，中华先人已会铸铜。公元前17世纪前后，已开始冶铸青铜。公元前1200年，中国商代已能使用锡、铅及汞等化合物，并出现镀锡的铜器。公元前6世纪前后，中国发明了生铁冶炼技术。公元前四世纪左右，战国初期发明了可锻铸铁。随后，战国后期则发展出块炼铁渗碳制钢技术。在西安的秦始皇兵马俑博物馆中陈列的文物表明，中国在秦始皇时期就已掌握了铬盐氧化技术，用以防锈。公元前2世纪，中国西汉时已有了关于利用胆水炼铜的湿法冶金记载。之后不久，我们的先人又发明了炒钢技术^[1]。

今天，从矿山到工厂，从农村到城市，可以说各行各业、千家万户都离不开金属材料。金属材料的生产已成为国力的标志之一。2005年，我国钢产量达3.48亿吨，炼钢能力达到4.7亿吨。作为世界上最大的产钢国和消费国，中国钢产量相当于排名2~4位的美国、俄罗斯和日本三国的总和。2007年，我国钢产量有望超过4.5亿吨，占到了全球钢产量的1/3^[2]。中国已成为全球金属材料的生产和消费大国。

令人不安的是，我们花费大量劳动，消耗相当能量而获得的金属材料，除某些贵金属外，多数金属在自然条件（大气、天然水体、土壤）或人为条件（酸、碱、盐及其他介质）下，每时每刻都在发生腐蚀——一种自发进行的无谓的消耗。其根本原因是这些金属处于热力学不稳定状态。一有可能，它们就要恢复到原来在地壳中所处的相对稳定状态，生成金属氧化物、硫化物、碳酸盐等，或转变为可溶性离子。这一过程可以看作是冶金生产的逆过程。

腐蚀造成的后果是严重的，不仅浪费了金属资源，还使生产停顿，物料流失，降低产品质量，污染环境，延误新技术的发展，甚至引起火灾、爆炸、塌毁等灾难性事故。

据原化工部1980年对10个化工企业的统计，腐蚀损失约占年生产总值的3.97%。一个大型染料厂，每年因腐蚀报废的钢材达2000多吨，每年用于设备防腐维修、更换的费用高达1600万元。国内年产30万吨合成氨的中型化肥厂，每年因腐蚀报废的钢铁达1350~2100t，平均吨氨耗钢4.5~7kg^[3]。

炼油厂的腐蚀情况也很惊人。国内炼油厂常压塔顶碳钢空冷器的最大腐蚀穿孔速度曾达5.5mm/a，一台空冷器的使用时间到不了半年。管壳式冷凝器的管束腐蚀穿孔速度有时高达15mm/a，使用两个多月就要进行堵漏^[4]。