



油气管道安全技术丛书

# 油气管道 维抢修技术



石仁委 常贵宁 檀秀平 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

石仁委 常贵宁 檀秀平 主编

中國石化出版社



## 内 容 提 要

本书详细地介绍了油气管道维抢修的施工特点、工艺技术要求、安全技术措施与维抢修方法。针对不同的管道类型、地域(如山区地段、穿越地段)等分析了维抢修工作中常见的问题与对策,并结合具体维抢修案例分享了维抢修过程的经验做法,同时还介绍了油气管道维抢修中的安全管理。本书紧密结合生产实际,实用性和可操作性强,对油气管道维抢修工作具有较大的指导作用,对市政和其他工业管道的维抢修工作也具有一定的参考价值。

本书可供油气管道输送企业管理人员、运行维护人员、管道施工员工、安全监管人员阅读参考或作为员工培训教材,也可作为高等院校油气储运等相关专业的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

油气管道维抢修技术 / 石仁委, 常贵宁, 檀秀平主编.  
—北京: 中国石化出版社, 2017. 7  
(油气管道安全技术丛书)  
ISBN 978-7-5114-4545-2

I. ①油… II. ①石… ②常… ③檀… III. ①石油管道-管道维修 ②天然气管道-管道维修 IV. ①TE973.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 166035 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行  
地址: 北京市朝阳区吉市口路 9 号  
邮编: 100020 电话: (010) 59964500  
发行部电话: (010) 59964526  
<http://www.sinopec-press.com>  
E-mail: [press@sinopec.com](mailto:press@sinopec.com)  
北京富泰印刷有限责任公司印刷  
全国各地新华书店经销



\*  
787×1092 毫米 16 开本 10 印张 245 千字  
2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷  
定价: 36.00 元

# 前言

油气管道已经成为工业化国家的能源大动脉，甚至可以称得上是社会和工矿企业的生命线。由于材料、设计、施工缺陷，腐蚀、操作失误、自然灾害、社会生产发展、周边环境变化，第三方破坏甚至恐怖袭击等原因，管道发生破损、撕裂、泄漏、污染乃至燃烧爆炸事故不可避免。因此，油气管道的维护、维修、抢修在油气管道全寿命周期中是一项最重要的基础性工作。加之，由于油气易燃易爆、部分油气介质含有有毒有害成分，油气泄漏等事故不仅会给社会生产的连续性造成冲击，且具有危险性大、污染环境等特点，因此，必须注重油气管道维抢修技术、作业规程、现场施工组织、应急处置等的研究、探索工作；在持续总结维抢修的方法、经验、技术的基础上，不断开发维抢修新机具、新工艺、新材料及新方法；建立科学实用的油气管道维抢修管理体系、应急处置体系及法规标准体系。

本书正是基于上述认识，结合我们在长期从事油气管道维抢修施工、管理、检测评价、方法研究中的实际经验与体会，结合实际案例分析，详细地叙述了油气管道维抢修的施工特点、技术、方法、机具、施工组织与安全管理、应急处置措施。其中，第一章介绍了常见油气管道缺陷原因及形式；缺陷维修技术与方法；维抢修施工的现场组织方法与投产试运行等。第二章介绍了维抢修常用技术方法，包括各种泄漏封堵技术，在役管道焊接补焊技术与方法，内衬维修方法，外防腐保温层修复、加固补强及其他辅助维修技术。第三章介绍了原油与成品油管道的特点、维抢修方法、安全风险及预防措施，并结合具体案例介绍了输油管道维抢修的具体做法。第四章分析了输气管道的事故特点，日常维修监控方法，维抢修中的焊补与堵漏、动火作业、氮气置换等具体方法，并结合具体案例介绍了不停输换管技术在天然气管高压管线上的运用。第五章介绍了管道穿、跨越方式及事故特点，穿越河流、公路、铁路的油气管道维抢修方法，跨越管道维抢修技术，承插式快装输油管道旁接穿(跨)越技术，跨越段输油管道抢修工程案例分析等。第六章介绍了山区地段管道事故类型及抢修程序，山地地段维抢修布管方法，山地森林或油品火灾与埋地光缆维抢修，山地陡坡地区油气管道抢险施工案例分析等。第七章介绍了油气管道维抢修中的应急管理与 HSE 管理。

本书由石仁委、常贵宁、檀秀平主编。具体分工是：石仁委拟定编写大纲，并负责最终修改定稿工作；常贵宁负责第一章、第二章第一节编写以及编写过程中的协调工作；王宏负责第二章其余三节的编写；赵庆霞负责第三章编写；陈素英负责



第四章编写；徐慧娟负责第五章编写；檀秀平负责第六章、第七章的编写；段秀英负责工程案例编写。

本书在写作过程中，得到了中国石化销售有限公司华东分公司嘉兴输油管理处处长何良恩教授级高工、天津耐斯工程技术有限公司管道堵漏高级技师马剑等专家的指导；得到了胜利集输总厂、胜利油建公司、胜利检测中心、中国石化销售公司嘉兴输油管理处、天津耐斯工程技术有限公司等单位领导、工程技术人员的支持和帮助；参考了大量论文、出版物、网络平台资料、施工报告等文献，在此一并向有关专家、领导、同事、参考文献作者表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥不当之处，恳请同行和读者批评指正。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥不当之处，恳请同行和读者批评指正。

# 目 录

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| 第一章 概述 .....               | ( 1 )  |
| 第一节 常见管道缺陷原因及形式 .....      | ( 1 )  |
| 一、管道事故与缺陷 .....            | ( 1 )  |
| 二、缺陷类型 .....               | ( 3 )  |
| 第二节 管道缺陷维修技术与方法 .....      | ( 5 )  |
| 一、维抢修的概念与基本技术 .....        | ( 6 )  |
| 二、缺陷修复方法的选择 .....          | ( 7 )  |
| 三、维抢修涉及的其他技术 .....         | ( 9 )  |
| 第三节 维抢修作业的施工组织 .....       | ( 10 ) |
| 一、维抢修工作内容 .....            | ( 10 ) |
| 二、维抢修工作施工组织设计 .....        | ( 10 ) |
| 三、维抢修作业施工组织机构及职能 .....     | ( 12 ) |
| 四、工程投产方法与注意事项 .....        | ( 13 ) |
| 第二章 维抢修常用技术 .....          | ( 15 ) |
| 第一节 泄漏封堵维抢修技术 .....        | ( 15 ) |
| 一、夹具堵漏法 .....              | ( 15 ) |
| 二、缠绕钢带 .....               | ( 16 ) |
| 三、带压开孔内封堵技术 .....          | ( 16 ) |
| 四、其他内封堵技术 .....            | ( 18 ) |
| 第二节 在役管道焊接维修技术 .....       | ( 21 ) |
| 一、在役管道腐蚀坑焊接补强 .....        | ( 21 ) |
| 二、腐蚀坑在线维抢修焊接特点 .....       | ( 26 ) |
| 三、防止管道在线维抢修焊接产生裂纹的措施 ..... | ( 27 ) |
| 第三节 内衬维修方法 .....           | ( 28 ) |
| 一、内衬管种类 .....              | ( 29 ) |
| 二、作业方式及其特点 .....           | ( 30 ) |
| 第四节 外防腐保温层修复及其他技术 .....    | ( 31 ) |
| 一、外防腐层剥离清除与焊口表面处理技术 .....  | ( 31 ) |
| 二、管道外防护层修复 .....           | ( 32 ) |
| 三、管道补强修复技术 .....           | ( 33 ) |
| 四、其他辅助技术 .....             | ( 34 ) |
| 第三章 输油管道维抢修 .....          | ( 36 ) |
| 第一节 输油管道的特点 .....          | ( 36 ) |

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| 一、原油管道的特点 .....                | ( 36 ) |
| 二、成品油管道的特点 .....               | ( 38 ) |
| 第二节 原油输送管道维抢修 .....            | ( 40 ) |
| 一、维抢修设计与施工的一般原则 .....          | ( 40 ) |
| 二、输送易凝原油管道隐患及其维修和预防措施 .....    | ( 42 ) |
| 三、被打孔盗油管道的维抢修 .....            | ( 43 ) |
| 第三节 成品油输送管道维抢修 .....           | ( 46 ) |
| 一、维抢修作业特点及一般程序 .....           | ( 46 ) |
| 二、维抢修方案与方法 .....               | ( 47 ) |
| 三、动火作业及其他安全管理 .....            | ( 50 ) |
| 四、辅助作业与后勤保障 .....              | ( 52 ) |
| 第四节 某双管并排敷设段成品油管道抢险施工案例 .....  | ( 53 ) |
| 一、项目概况 .....                   | ( 53 ) |
| 二、维抢修方案及实施 .....               | ( 53 ) |
| 三、经验与教训 .....                  | ( 57 ) |
| 第四章 输气管道维抢修 .....              | ( 58 ) |
| 第一节 输气管道事故与安全管理 .....          | ( 58 ) |
| 一、输气管道事故案例与统计 .....            | ( 58 ) |
| 二、输气管道事故特点 .....               | ( 61 ) |
| 三、输气管道安全运行管理 .....             | ( 62 ) |
| 第二节 输气管道日常运行维护 .....           | ( 63 ) |
| 一、运行中的气质监控 .....               | ( 63 ) |
| 二、运行维护的主要内容 .....              | ( 64 ) |
| 第三节 输气管道维抢修 .....              | ( 66 ) |
| 一、维抢修中的焊补与堵漏 .....             | ( 67 ) |
| 二、动火作业与安全管理 .....              | ( 70 ) |
| 三、氮气置换工艺 .....                 | ( 71 ) |
| 第四节 某天然气高压管线上不停输换管技术应用案例 ..... | ( 74 ) |
| 一、项目概况 .....                   | ( 74 ) |
| 二、前期准备工作 .....                 | ( 75 ) |
| 三、施工组织及技术要求 .....              | ( 75 ) |
| 四、作业流程及步骤 .....                | ( 76 ) |
| 五、应急准备及紧急事态处置 .....            | ( 78 ) |
| 第五章 穿(跨)越段油气管道维抢修 .....        | ( 80 ) |
| 第一节 穿越河流油气管道维抢修 .....          | ( 80 ) |
| 一、管道穿越方式及事故特点 .....            | ( 80 ) |
| 二、小型穿越河流管道抢修 .....             | ( 83 ) |
| 三、大、中型穿越河流管道抢修 .....           | ( 85 ) |
| 四、河谷段管道维抢修中的沉管施工要点 .....       | ( 91 ) |



|                              |         |
|------------------------------|---------|
| 第二节 穿越公路、铁路油气管道维抢修 .....     | ( 93 )  |
| 一、公路、铁路穿越的基本要求与事故特点 .....    | ( 93 )  |
| 二、用新管段更换旧管段法 .....           | ( 95 )  |
| 三、开挖管沟法 .....                | ( 99 )  |
| 第三节 跨越段油气管道维抢修 .....         | ( 100 ) |
| 一、管道跨越方式及特点 .....            | ( 100 ) |
| 二、管道跨越管段事故及预防处理 .....        | ( 103 ) |
| 三、管道跨越事故抢修方法 .....           | ( 104 ) |
| 第四节 承插式快装输油管道旁接穿(跨)越技术 ..... | ( 106 ) |
| 一、水面穿越与水下穿越技术 .....          | ( 106 ) |
| 二、悬挂跨越技术设备 .....             | ( 108 ) |
| 第五节 某跨越段输油管道抢修工程案例 .....     | ( 111 ) |
| 一、项目概况 .....                 | ( 111 ) |
| 二、维抢修方案 .....                | ( 111 ) |
| 三、实施效果与体会 .....              | ( 117 ) |
| 第六章 山区等特殊地段油气管道维抢修 .....     | ( 118 ) |
| 第一节 山区管道事故类型及维抢修程序 .....     | ( 118 ) |
| 一、山区管道自然灾害事故及维抢修一般方法 .....   | ( 118 ) |
| 二、山地森林或油品火灾事故 .....          | ( 119 ) |
| 三、人为破坏事故 .....               | ( 122 ) |
| 四、维抢修主要程序 .....              | ( 122 ) |
| 第二节 山地地段维抢修布管方法 .....        | ( 123 ) |
| 一、山地缓坡段布管方法 .....            | ( 123 ) |
| 二、山地陡坡段布管方法 .....            | ( 124 ) |
| 第三节 山地森林或油品火灾与埋地光缆维抢修 .....  | ( 125 ) |
| 一、光缆的适用工作温度 .....            | ( 125 ) |
| 二、地面火灾的影响分析 .....            | ( 125 ) |
| 三、管道通讯光缆维抢修 .....            | ( 126 ) |
| 第四节 某山地陡坡地区油气管道抢险施工案例 .....  | ( 128 ) |
| 一、项目概况 .....                 | ( 128 ) |
| 二、维抢修方案 .....                | ( 129 ) |
| 三、维抢修过程及效果分析 .....           | ( 132 ) |
| 第七章 维抢修安全管理 .....            | ( 133 ) |
| 第一节 油气管道维抢修体系的建立 .....       | ( 133 ) |
| 一、体系的内容 .....                | ( 133 ) |
| 二、体系制定的流程与实施 .....           | ( 135 ) |
| 三、应急管理及应急响应 .....            | ( 137 ) |
| 第二节 油气管道维抢修 HSE 管理 .....     | ( 140 ) |
| 一、维抢修施工的风险评价 .....           | ( 141 ) |

|                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| 二、重大风险确定与防范 .....     | (142)                |
| 三、加强检查监督 .....        | (144)                |
| 第三节 环境治理与修复 .....     | (144)                |
| 一、技术特点 .....          | (145)                |
| 二、技术指标 .....          | (148)                |
| 三、适用范围 .....          | (148)                |
| 参考文献 .....            | (150)                |
| 101) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 102) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 103) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 104) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 105) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 106) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 107) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 108) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 109) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 110) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 111) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 112) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 113) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 114) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 115) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 116) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 117) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 118) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 119) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 120) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 121) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 122) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 123) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 124) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 125) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 126) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 127) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 128) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 129) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 130) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 131) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 132) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 133) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 134) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 135) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 136) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 137) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 138) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 139) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 140) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |
| 141) 油气储运工程安全设计 ..... | 王 明 著, 石油工业出版社, 2004 |

# 第一章 概述

管道运输是石油及天然气最主要的运输方式。与铁路、公路、水运相比，管道运输具有运输量大、安全密闭、便于管理、易于实现远程集中监控等优点。特别是天然气，由于其密度小、体积大，陆上运输时管道是最佳的运输方式。

就像人会生病一样，油气管道在运行过程中也会不可避免地出现多种缺陷，影响到管道的安全运行，需要进行维修或抢修。管道维抢修是油气储运生产中必不可少、经常性的一项工作内容。随着科技不断发展与进步，管道维抢修新技术、新工艺不断涌现。

管道维修、抢修一般是指管道的修补、修复和更换管段，包括管道清管作业、管道本体缺陷的修复、管道阴极保护及防腐保温层的修复。通过修补、修复、改造等技术措施，达到修复缺陷、改变流程、更换设备部件等目的，使管道恢复正常运行。

维修和抢修是根据施工的紧急程度而分。维修是指计划性作业，抢修是指应急性作业。

根据施工作业的大小，维抢修又可分为小修和大修。小修多指管道局部的维护、维修、修补；大修多指修复和更换管段。

## 第一节 常见管道缺陷原因及形式

管道缺陷包括管体穿孔、减薄、裂纹、防腐保温层破损等形式，导致管道发生泄漏、输送能力降低，安全可靠程度下降，严重影响管道安全、经济、可靠运行。

### 一、管道事故与缺陷

#### 1. 管道事故

管道事故是指导致输送介质泄漏，影响正常输送的意外事件。据欧洲输气管道事故数据组织(EGIG)对 1970~2004 年该组织范围内输气管道进行的调查统计显示，被调查的 277 万公里管道共发生事故 1123 起。中国城市规划协会地下管线专业委员会对媒体发布的 2009~2013 年中国地下管线事故统计报告显示，2008~2010 年间，全国仅媒体公开报道的地下管线事故平均每天就有 5.6 起。全国每年因地下管线事故造成的直接经济损失达数十亿元。

2017 年 2 月 24 日，我国某东部油田集输总厂原油库进库输油管线在东营市西二路与黄河路十字路口北 200m 路西等地，发生 4 处管线憋压泄漏，造成原油外泄。

事故经过：2 月 24 日，集输总厂原油库按照流量计周期检定安排，将占用标定线的 1 号进库输油管线改出，标定 2 号进库输油管线流量计。7 时 30 分左右，原油库负责人给油库调度下达 2 号进库输油管线流量计标定指令；油库调度将指令先后下达相关岗位及其值班长等；当班职工接指令后开具操作票，主要内容为：先开 103 号阀、102 号阀，后关 100 号阀；值班长与值班干部分别对操作票进行审核确认并签字。7 时 50 分，当班职工、值班长和值班干部同时来到流量计岗出站阀组间，由值班长现场唱票。值班干部现场监护，当班职工现场执行启动开关操作；在完成全部操作程序后，值班干部检查确认时发现：102 号阀并



没有打开，随即要求立即重启 100 号阀，恢复流程；但是，由于整个误操作过程持续时间约 5min，且 1 号进库输油管线属于带有腐蚀缺陷的老旧待改线管道，憋压后发生泄漏。

事故原因分析：直接原因是在未确认 102 号阀门打开的情况下关闭了 100 号阀，造成压力升高、管线穿孔、原油外泄。间接原因则在于：①隐患消除不到位，1 号进库输油管线使用年限长，腐蚀老化严重，历史上已经发生过多起腐蚀穿孔泄漏事故。但是由于该管线地处繁华市区，周边建筑、市政设施密布，维修困难，加之一直在协调改线规划设计方案，因此管线业主单位对该管道一直没有进行过系统大修，致使腐蚀隐患等长期存在，被迫降压维持运行。②风险隐患重视不够，管控措施不到位。该原油库共有 6 条进油管线、12 个流量计，按照正常在线流量计标定要求，1 号进库输油管线占用标定线进罐，至少每季度要改出改进标定线 10 次，开关阀门 120 余次；频繁操作致使误操作发生的几率增大、压力波动，增大了管线泄漏风险。③应急响应迟缓，现场抢修处置不迅速，导致泄漏量增大。

2. 事故与缺陷的关系

上述事故案例尽管是由误操作引起的，但是仔细分析我们发现：与许许多多类似事故一样，管道系统存在缺陷以及缺陷维修不彻底、抢修处置方案存在瑕疵是导致事故及事故扩大的不可避免的原因。可以说，事故绝大多数是由缺陷(缺陷就是事故隐患)发展而来的。

造成管道出现缺陷的主要原因有：腐蚀、磨损、第三方破坏、材料缺陷、施工缺陷、自然灾害、操作失误等多种。

1) 腐蚀与磨损

金属腐蚀是金属与周围介质发生化学、电化学或物理作用成为金属化合物而受破坏的一种自然现象。按照管道腐蚀部位的不同，可分为外腐蚀和内腐蚀。根据腐蚀的作用机理，又可分为电化学腐蚀、细菌腐蚀、应力腐蚀开裂、氢致开裂等。

由于管输介质中含有砂粒等会对管道形成冲刷磨损，特别是容易造成管道底部、弯头等处的损伤减薄。

2) 第三方破坏

第三方破坏是指第三方盲目野蛮施工或人为故意破坏所造成的损伤。由于管道深埋地下，一些第三方施工单位缺乏资料和探查，盲目进行挖掘动土施工，还有一些地下穿越、定向钻施工，造成管道破坏、破裂引发泄漏、着火、爆炸事故时有发生，特别要引起注意。

人为故意破坏主要是打孔盗油气所形成的管体变形、留存的盗油阀等对管道应力的影响以及对管道防腐层的破坏。管线自身的老化、腐蚀是元凶之一，但并非管线事故主因。在《法制晚报》记者统计的案例中，除去 3 起未公布事故原因外，超过 8 成为外力人为破坏，“施工失误”、“违规作业”等是造成事故的主要原因。

3) 材料缺陷

管体材料如钢铁本身存在裂纹、砂眼、减薄等缺陷，在管道压力作用下这些薄弱环节易失效造成破裂。

4) 施工缺陷

施工缺陷是指管道施工过程中形成的缺陷，如焊接缺陷、防腐层质量缺陷、对盗油气部位临时处置留下的缺陷、管沟回填不密实、施工临时阴极保护缺陷等。

5) 自然灾害

自然灾害是指管道受到自然环境中的外力破坏，如滑坡、泥石流、地震、台风等使管道

地基移位，从而使其受到强大外力导致撕裂或毁坏；河流、海洋等穿越段被冲刷，导致位移、露管、悬空超过管体强度而导致破坏等。

6) 操作失误

憋压是管道三大故障之一(另外两个是泄漏、堵塞)。油气管道是一个压力系统，牵一发而动全身。憋压很容易造成管道下游穿孔泄漏，这是因为在正常情况下，管道上游压力高，越往后压力越低，一些腐蚀缺陷正常运行时显示不出来，而一旦憋压就可能使管道因承受超过其自身的承压能力，而引起下游管道破裂。还有一种原因是温度变化，如管道内温度受热产生热胀力，如果超过承压能力也会导致管道发生破裂事故。

需要说明的是：误操作本身反映的是一种管理缺陷或系统技术设计缺陷(缺乏自动闭锁或纠错)，并不必然导致事故，但是会因为管道系统存在的其他缺陷或薄弱环节，从而导致事故。

二、缺陷类型

1. 管体缺陷

管体缺陷通常根据缺陷程度和位置划分，主要有金属损失、裂纹、变形、焊缝缺陷四大类型，见表 1-1。

表 1-1 油气管道管体缺陷类型及划分

| 缺陷类型 | 划分标准                                                                                     | 缺陷类型 | 划分标准                                                        |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------|
| 金属损失 | 缺陷深度 $\geq 0.8t$<br>缺陷深度 $< 0.8t$<br>点蚀深度 $\geq 0.8t$<br>焊缝损伤或腐蚀<br>内部缺陷或腐蚀<br>凿槽或其他金属损失 | 变形   | 凹坑深度 $\geq 6\%D$<br>凹坑深度 $< 6\%D$<br>环焊缝有应力集中的凹坑<br>皱弯、弯曲缺陷 |
| 裂纹   | 裂纹深度 $\geq 0.8t$<br>裂纹深度 $< 0.4t$<br>氢致裂纹                                                | 焊缝缺陷 | 体积型缺陷<br>线缺陷<br>电阻焊焊缝缺陷<br>电弧烧伤、夹渣<br>环焊缝缺陷                 |

注： $t$  为管道壁厚； $D$  为管道直径。

1) 金属损失

金属损失是指由于腐蚀等原因所造成的管壁减薄、穿孔等缺陷，它又分为腐蚀坑穿孔、点状腐蚀坑、多点密集腐蚀坑、大面积多点密集腐蚀坑等多种形式。

(1) 腐蚀坑穿孔 腐蚀坑穿孔形式是指管道表面腐蚀坑的腐蚀深度接近母材壁厚时，被管道工作压力击穿形成的通孔，称为腐蚀坑穿孔，如图 1-1 所示。

(2) 点状腐蚀坑 点状腐蚀坑形式是指管道内壁或外壁一定范围内有单个腐蚀坑或多个腐蚀坑，腐蚀坑之间有一定距离，面积小，称为点状腐蚀坑，如图 1-2 所示。

(3) 多点密集腐蚀坑 多点密集腐蚀坑形式是指管道内壁或外壁一定范围内腐蚀坑密集且间距小，称为多点密集腐蚀坑，如图 1-3 所示。

(4) 大面积多点密集腐蚀坑 大面积多点密集腐蚀坑形式是指管道表面腐蚀坑密集而且间距小、面积大的形式，如图 1-4 所示。

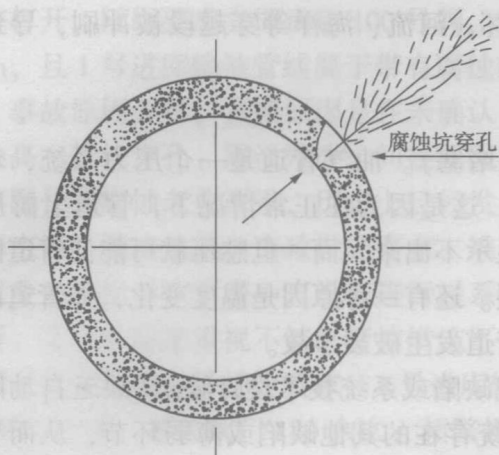


图 1-1 管道腐蚀坑穿孔示意图

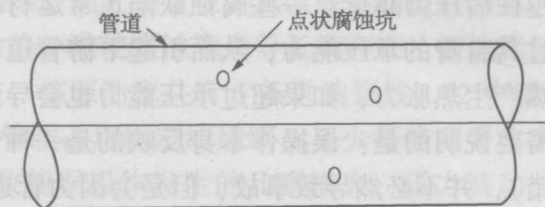


图 1-2 管道点状腐蚀坑示意图

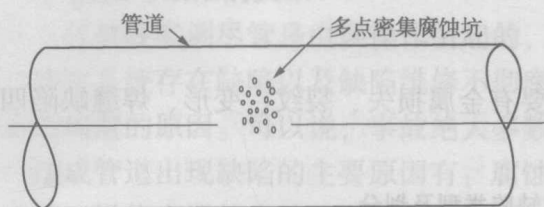


图 1-3 管道多点密集腐蚀坑示意图

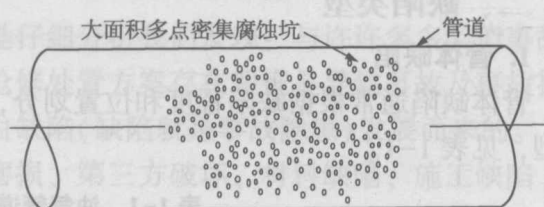
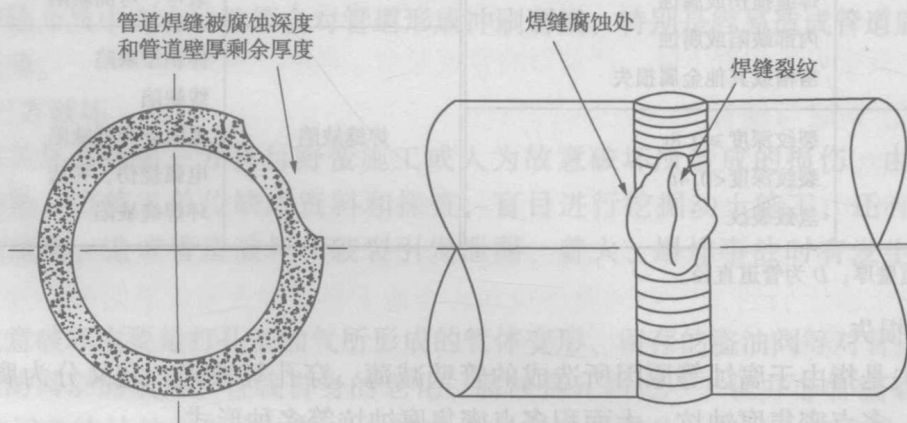


图 1-4 管道大面积多点密集腐蚀坑示意图

## 2) 裂纹

管体经腐蚀、疲劳等作用后，经长期承受载荷产生疲劳或因焊缝中残余应力导致产生焊缝处裂纹，称为焊缝表面腐蚀产生的裂纹，如图 1-5 所示。



(a) 焊缝腐蚀深度和管道壁厚剩余厚度

(b) 焊缝腐蚀处形状与产生的裂纹形状

图 1-5 焊缝表面腐蚀产生裂纹形式

## 3) 变形

变形是指管体受到内压或外力作用导致管体产生凸起、凹坑、褶皱、弯曲等变形。

## 4) 焊缝缺陷

焊缝缺陷包括体积型缺陷、线缺陷、电阻焊焊缝缺陷、电弧烧伤、夹渣、环焊缝缺陷等。

特别是未焊透、未熔合、气孔等典型内部缺陷是导致管道失效的重要因素。导致这种现象的原因大多是安装时造成的。GC1 级管道安装要求 100% 无损探伤，而 GC2 级只要求 10%



或更低比例的抽查探伤检验，这就给了现场焊工“糊弄”的机会，为了工作量、工程进度而加快焊接，内部缺陷也就在所难免了。焊缝内部缺陷是很难修复处理的缺陷，也是管道存在安全隐患最大的问题之一。对这类缺陷的处理只能是焊缝返修，消除缺陷，而焊缝返修工程量大，需要时间也长，返修成本很高，还存在返修后焊缝质量更差的风险。

## 2. 阴极保护缺陷

阴极保护是指在金属物表面上附加阴极电流，使金属电位负移，从而减小容易受腐蚀的阳极的溶解速度，甚至导致停止，这样才能对金属物起到防止腐蚀的作用。一般采用两种方法实现阴极保护，即外加电流法和牺牲阳极法。两种方法的原理没有差别，主要是提供电流的方式不一样。但在使用时要充分考虑实际情况，例如管道所处的环境特点等，选择合适的方法来实现阴极保护。阴极保护常见问题或缺陷有：

### 1) 管道外防腐层缺陷

管道外防腐层质量不合格，会影响到阴极保护的效果，缩短管道的使用寿命，影响管道的正常运行。主要体现在：一些管道外防腐层在出厂时就不合格，如有针孔、漏防腐、黏结不牢固等，随着使用年限延长，缺陷不断扩展；施工过程中，施工人员偷工减料，或者工艺技术不规范，操作水平较低，对管道的保护措施不到位，导致外防腐层受损；由于各种第三方破坏或其他原因导致外防腐质量下降，如老化剥离、破损等。

### 2) 土壤电阻率低

油气管道一般深埋于地底下或者低洼地带，环境恶劣，地形复杂，这样的外部环境也会对管道腐蚀造成一定的威胁。同时，土壤成分结构复杂，涵盖各类成分物质，可能含有容易腐蚀管道的物质，也可能会因为发生反应而生成导致管道腐蚀的物质。此外，地底下的土壤含水量较多，非常湿润，导电性较强，并含有一定的矿物质，土壤电阻率低，会加重管道的腐蚀性。这就要求管道要采取阴极保护措施，才能保证管道的正常运行。

### 3) 恒电位仪器设备老化

为能保证管道两端的阴极保护站能持续运行，需要采用恒电位仪器设备。但在实际过程中，很多恒电位仪器设备质量不合格，使用寿命短，发生老化，容易出现各类仪器故障，无法维持正常的使用。或者仪器设备已被淘汰，无法满足工艺的要求，难以保证管道的运行。仪器设备长期出现问题，会影响到阴极保护站的运行，达不到管道阴极保护的需要。

### 4) 阴极保护不合理

欠保护或过保护等均会影响保护效果，进而加速管道腐蚀。

## 3. 其他缺陷

结构不合理也是管道常见缺陷，如管道与支架接触不良、弯头质量不合格、异径管单位长度内直径变化太大、管道与阀门等连接处连接形式不当等。结构不合理容易引起管道振动，从而导致管道疲劳事故。

另外，管道管材选型不当、管道敷设方式不当也是管道的缺陷之一。

## 第二节 管道缺陷维修技术与方法

由于管道服役年限增长、腐蚀、外力干扰以及管道材料自身缺陷等诸多因素的影响，阀门失效和管道泄漏事故时有发生，因此需要对其进行阀件更换、增加支路、管线修改及管段

更换等维抢修作业。及时对油气管道进行维护与维修，可以减少管道事故的发生。

## 一、维抢修的概念与基本技术

### 1. 基本概念

一般说来，管道维抢修是指清管、线路维护和管道抢修等。

(1) 清管 清除油、气管内积存的凝油、积蜡、机械杂质、腐蚀产物如硫化铁和积水等物质，以恢复或提高管道输送效率。这些物质附着在管壁上或沉积在管底，使管道内截面积缩小，并且腐蚀管道内表面，增加油、气输送的能耗。清管主要用清管器。有的清管器上安装有各种仪器，用来测量管壁厚度、内腐蚀情况、管道变形和位置沉降等。常用的清管器有球形清管器、皮碗式清管器和软质清管器。

(2) 线路维修 包括检查管道腐蚀和防腐情况；检查管道有无泄漏点；检查沿线阀门的情况；检查沿线水工构筑物和被覆土层流失情况；检查标志损坏的情况等。一旦检查出管道线路和设备出现故障，应及时修补或更新。

管道的线路长，随时有遭受人为的和自然灾害的破坏的可能。为此，要经常进行巡线和检修工作。此外，还应设有专门的管道维修队，配备必要的机动设备、土方施工机具、施焊和封堵设备以及通信工具等，以便随时准备抢修。

(3) 管道抢修 重点管道维护工作中最突出的是破漏抢修和更换管段等大型事故处理作业。如果破漏是因腐蚀穿孔造成的，可以用夹具堵住管道上的漏孔，然后进行补焊。如果管道严重损坏或发生变形，就必须切除管道并更换新管段。切除管道时漏出的油气很容易引起火灾，因此在低处切除管道时，必须防止大量油气漏出，常使用机械式封堵器封堵管道，在不停输的情况下进行抢修作业。

### 2. 维抢修的基本技术

目前，常用的缺陷维修技术，可分为3大类9种。焊接类：补焊、补板、套筒、换管；夹具类：机械夹具、套筒；复合材料类：环氧钢套筒、纤维复合材料、内衬。焊接类、夹具类、复合材料类修复技术具有典型代表性，这里作一个简要介绍。

#### 1) 焊接类维修技术

该技术就是采用焊接补强金属，如采用堆焊、补焊等方法。其优点是费用较低；缺点是焊穿的危险性大，存在焊缝材料与母材的性能匹配问题和管体与补强钢板之间的应力问题，并存在氢致裂纹和氢脆的危险性。

对于焊接类维修技术，应关注管材等级，如等级在 X60 及以上时，需要按相应在线焊接工艺评定规定的程序进行修复。A 型套筒、环氧钢套筒、复合材料、机械夹具、内衬属于非焊接类维修技术，对一般环向缺陷(如环向裂纹、环焊缝缺陷)不建议使用该类维修技术。其中，内衬修复技术适用于低压(压力小于 4MPa)管道缺陷修复，修复过程中需要停输。选用复合材料进行修复时，应充分考虑管道服役期间的温度波动范围、复合材料性能老化和树脂固化条件等因素对修复可靠性的影响。

对于缺陷程度较高、轴向长度较大的缺陷，在开挖过程中要注意管道悬空长度，具体允许悬空距离可参见 GB/T 19624《在用含缺陷压力容器安全评定》规定。

#### 2) 夹具类维修技术

夹具类维修技术包括机械夹具、A 型套筒、B 型套筒、环氧钢套筒等。

环氧钢套筒修复技术作为一种免焊修复技术，具有可修复多种缺陷类型、适用范围广等特点。但是该技术在高寒地区及天然气管道缺陷修复中使用，常温固化型填充树脂存在低

温固化周期长、强度低、固化后热膨胀系数与管材匹配性差等问题，有待于进一步完善。

### 3) 复合材料类修复技术

现在常用的纤维复合材料主要有玻璃纤维、碳纤维、芳纶(凯夫拉)纤维等。玻璃纤维的优点是绝缘性好、抗腐蚀、机械强度高；缺点是质脆、耐磨性差。碳纤维的优点是轴向强度高、耐疲劳性好、耐腐蚀性好、重量轻；缺点是抗冲击性较差，具有导电性，不利于管道阴极保护。芳纶纤维的特点是强度高、弹性模量高、耐高温、耐腐蚀、耐酸碱、绝缘性好、低密度、抗老化，是理想的补强材料。

复合材料修复技术跟传统修复技术相比，具有无需焊接、材料强度高、可设计性强、修复时间短等优点。但是该技术在我国刚刚起步，在管道压力波动、温度波动、土壤剪切、弯曲应力等条件下的长效性尚待开展相关研究。

## 二、缺陷修复方法的选择

### 1. 金属损失

#### 1) 缺陷程度 $\geq 0.8t$ ( $t$ 为管道壁厚)

当油气管道管体泄漏或管体缺陷 $\geq 0.8t$ 时，可采用机械夹具进行临时修复或采用换管进行永久修复，通常临时修复后在2年内需采用永久修复技术进行更换。临时修复可采用B型套筒、环氧钢套筒与柔性夹具组合。建议修复螺旋焊缝钢管缺陷时，B型套筒内壁要制作凹槽，凹槽高度宜为4mm，宽度宜为40mm。

有些管道运营单位在采用B型套筒进行缺陷修复时，为了充分发挥套筒修复补强效果，在套筒与管体之间填充树脂使套筒和缺陷部位能够“无缝隙”地紧密贴合在一起，以限制缺陷超出塑性形变后继续扩展。但在填充树脂过程中，要考虑焊接热影响区可能会导致部分树脂焦化，这不仅会影响管体所受应力的传导，也可能会出现电偶腐蚀和内腐蚀。

采用换管修复前，应保证管道压力已经降到0.8倍的运行压力以下，缺陷管道排空，切断位置离缺陷或泄漏处顶端至少有100mm的距离，切除的管道长度应超过3倍管道直径。

#### 2) 缺陷程度 $< 0.8t$

当缺陷程度 $< 0.8t$ 时，可采用补焊、补板、A型套筒、B型套筒、环氧钢套筒、复合材料或换管修复中的任意一种技术进行永久修复。其中补焊和补板技术由于存在应力集中和焊接工艺要求的限制，宜用于X52及以下等级钢管道的修复，补焊修复时管道剩余壁厚应不低于3.2mm。

#### 3) 点蚀深度 $\geq 0.8t$

当点蚀深度 $\geq 0.8t$ 时，可采用补板、B型套筒、环氧钢套筒与柔性夹具组合或换管进行永久修复。补板和B型套筒修复时，管道压力应降低到修复工艺要求的压力评估计算值，且不超过0.8倍的运行压力。

#### 4) 焊缝损伤或腐蚀

油气管道管体的焊缝存在损伤或腐蚀时，宜采用B型套筒或复合材料永久修复。采用B型套筒修复时，应确保缺陷长度小于其扩展临界值。采用复合材料修复时，应重视缺陷附近的管体表面处理、修复层边缘防护以及电偶腐蚀等影响修复质量及长效性的因素。采用玻璃纤维复合材料和芳纶纤维复合材料修复时，若修复层较厚，其边缘应采用附着力较好的腻子平滑过渡到管体表面，减少土壤剪切力对修复区域的破坏。

#### 5) 内部缺陷或腐蚀

当管体内部存在缺陷时，建议采用B型套筒或换管进行永久修复。若内部缺陷明确不



会继续发展后,也可采用 A 型套筒、环氧钢套筒进行修复。

## 6) 凿槽或其他金属损失

当缺陷深度 $\leq 0.125t$ 时,可采用打磨修复。当 $0.125t < \text{缺陷深度} \leq 0.4t$ 时,打磨清理缺陷部位后,经检测合格,采用 B 型套筒进行修复;否则采用换管处理。当管体 $0.4t < \text{缺陷深度} \leq 0.8t$ 时,打磨清理缺陷部位,检测合格后,采用堆焊、补板、A 型套筒、环氧钢套筒和复合材料中的任意一种技术进行永久修复。堆焊修复时,管道剩余壁厚应 $\geq 3.2\text{mm}$ 。

## 2. 裂纹

### 1) 裂纹深度 $\geq 0.8t$

当管体裂纹深度 $\geq 0.8t$ 时,应采用换管修复。

### 2) $0.4t \leq \text{管体裂纹深度} < 0.8t$

当 $0.4t \leq \text{管体裂纹深度} < 0.8t$ 时,宜采用 A 型套筒、环氧钢套筒或者 B 型套筒中的任意一种技术进行永久性修复。如果经过断裂力学计算,裂纹长度小于裂纹扩展临界值,可采用 B 型套筒进行永久修复。环向裂纹不宜采用 A 型套筒、环氧钢套筒和复合材料修复技术。

### 3) 裂纹深度 $< 0.4t$

当管体裂纹深度 $< 0.4t$ 时,可采用打磨、堆焊、A 型套筒、环氧钢套筒或者复合材料修复中的任意一种技术进行永久修复。如果裂纹长度小于裂纹扩展临界值,可采用 B 型套筒进行永久修复。

### 4) 氢致裂纹

当管体存在氢致裂纹缺陷时,可采用补焊、环氧钢套筒或者 B 型套筒进行永久修复。

## 3. 变形

### 1) 凹坑深度 $\geq 6\%D$ ( $D$ 为管道直径)

当管体凹坑深度 $\geq 6\%D$ 时,可能导致清管器和内检测器无法正常通过,应采用换管进行永久修复;若无法换管时,可采用 B 型套筒或环氧钢套筒临时修复。

### 2) 凹坑深度 $< 6\%D$

当管体凹坑为深度在 $(4\% \sim 6\%)D$ 之间的平滑凹坑时,则不需修复,但应重点监视缺陷的变化情况,在条件允许时安排修复。当凹坑深度 $< 4\%D$ 且不存在应力集中、开裂、金属损失等情况时,不需要进行修复。

当凹坑深度 $< 6\%D$ ,并伴有金属损失、开裂或应力集中时,应采用 B 型套筒或换管进行永久修复。若打磨尺寸满足规范要求,且裂纹深度 $\leq 0.4t$ ,采用打磨消除裂纹,检测合格后经树脂填充固化,可采用 A 型套筒、环氧钢套筒或者复合材料进行永久修复。应使用热膨胀系数与管体接近的填充树脂进行填充。

### 3) 环焊缝附近有应力集中凹坑

当环焊缝附近有应力集中凹坑时,应采用 B 型套筒或换管进行永久修复。若打磨尺寸能满足规范要求,可采用打磨修复。

### 4) 皱弯、弯曲缺陷

当管体产生皱弯、弯曲缺陷时,若形变不大,可采用 B 型套筒或环氧钢套筒进行永久修复,若形变过大则应采用换管进行修复。

## 4. 焊缝缺陷

### 1) 体积型缺陷

当管道的焊缝缺陷为体积型缺陷时,应采用 B 型套筒或换管进行永久修复。若缺陷金