

高等学校规划教材 · 材料科学
PROGRAMMING TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION



管道的腐蚀与控制

王 荣 杨爱民 雒设计 刘文婷 编著

西北工业大学出版社

013038336

U177
03

高等学校规划教材·材料科

管道的腐蚀与控制

王 荣 杨爱民 雄设计 刘文婷 编著

图例 (110) 目类编在并图

ISBN 978-7-261-2615-1



出版发行：北京航空航天大学出版社
地址：北京市海淀区学院路29号
邮编：100191
电话：(010) 62412068
网址：http://www.buaapress.com.cn
U177
03

西北工业大学出版社



北航 C1643880

38880810

【内容简介】 本书以管道和管道材料为主要对象,系统地论述了金属材料与环境作用而产生腐蚀的理论基础和控制腐蚀的方法。内容包括管道成型技术及管道用钢;金属高温氧化的热力学和动力学规律;金属腐蚀的电化学原理、电极过程的动力学规律;局部腐蚀的产生机理、动力学规律及影响因素;典型环境中的腐蚀机理和控制因素;常用腐蚀控制技术,涂层、阴极保护和缓蚀剂的原理及工程应用;材料的腐蚀性评价方法,以及典型材料的腐蚀性等。

本书可作为高等院校材料类专业的教材,也可作为从事材料腐蚀与防护研究和工程应用领域工作的研究人员、工程技术人员和管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

管道的腐蚀与控制/王荣等编著. —西安:西北工业大学出版社,2013.2
ISBN 978-7-5612-3596-6

I. ①管… II. ①王… III. ①管道防腐 IV. U177

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 030158 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电话:(029)-88493844 88491757

网址:<http://www.nwpup.com>

印刷者:陕西兴平报社印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:18

字数:437 千字

版次:2013 年 3 月第 1 版 2013 年 3 月第 1 次印刷

定价:38.00 元

前 言

金属材料的使用面广、量大,因此它们的使用性能,特别是腐蚀性能一直受到工程领域的关注。在各种金属材料中,钢铁是创造人类铁器时代文明的基础材料,曾经有力地推进了人类工业化的进程。进入 21 世纪,信息技术和电子材料突飞猛进,但对钢铁的需求却有增无减,这主要是因为钢铁具有优良的综合性能和低的比强度价格。因此,钢铁材料仍然是工程结构中最重要基础材料,也是产量最大的结构材料。

各种工程设施、构件和机械装备等必须在一定环境中工作,有些环境具有很强的腐蚀性,例如化工领域的各种化学介质,石油、天然气领域的二氧化碳和硫化氢,材料会与其作用而产生腐蚀。这不仅会导致材料的损失,从而使设施发生破坏,而且可能引发事故,造成巨大的经济损失。腐蚀是一个十分复杂的过程,材料和环境中任何微小的变化都会影响最终的腐蚀速率。因此,掌握材料在腐蚀性环境中的腐蚀机理和探索腐蚀的控制技术具有十分重要的意义。

本书紧密围绕材料腐蚀基础理论和工程应用这两个主题,系统介绍了金属尤其是钢铁材料在腐蚀环境中的腐蚀机制、动力学规律和各种防护方法的原理。第 1 章主要介绍了管道成型及管道用钢的特点;第 2,3 章介绍了金属腐蚀的热力学和动力学理论;第 4 章介绍了局部腐蚀的现象、产生原理和控制措施;第 5 章阐述了典型自然环境中的腐蚀现象和规律,以及油气工业中二氧化碳、硫化氢的腐蚀问题;第 6~8 章介绍了涂层、阴极保护和缓蚀剂防腐蚀措施的原理和应用;第 9 章介绍了材料的腐蚀性和评价方法,并列举了常见材料腐蚀体系的腐蚀速率结果。本书选择管道这一典型工程构件,突出了腐蚀的理论基础与工程实践的结合。

本书的编写分工如下:绪论、第 2~5 章由王荣编写;第 6 章由杨爱民编写;第 1,7,9 章由雒设计编写;第 8 章由刘文婷编写;王荣对全书进行了统稿。

本书是在总结前人研究结果的基础上,结合笔者的教学和科研实践撰写的。书中引用了大量的数据、图表,特别是近年来对各种管道用钢腐蚀性的研究成果,在此对有关作者表示感谢。本书得到了西安石油大学教材建设项目的资助,在此一并表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中的缺点和错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 11 月

目 录

绪论	1
第 1 章 管道及管道用钢	5
1.1 管道及其分类	5
1.2 无缝钢管成型	6
1.3 焊管成型	10
1.4 管道用钢	16
参考文献	29
第 2 章 金属的高温氧化	31
2.1 氧化热力学	31
2.2 氧化动力学	34
2.3 氧化机理	38
2.4 合金氧化	41
2.5 典型合金的高温氧化	43
2.6 高温合金简介	45
参考文献	48
第 3 章 金属的电化学腐蚀	49
3.1 腐蚀电池	49
3.2 电极电位	51
3.3 电位-pH 图	56
3.4 极化	60
3.5 去极化-析氢腐蚀和吸氧腐蚀	70
3.6 钝化	73
参考文献	77
第 4 章 局部腐蚀	78
4.1 均匀腐蚀和局部腐蚀	78
4.2 电偶腐蚀	81
4.3 点腐蚀	85

4.4 晶间腐蚀·····	91
4.5 缝隙腐蚀·····	97
参考文献·····	100
第5章 典型环境中的腐蚀·····	102
5.1 大气腐蚀·····	102
5.2 海水腐蚀·····	109
5.3 土壤腐蚀·····	113
5.4 二氧化碳腐蚀·····	124
5.5 硫化氢腐蚀·····	130
参考文献·····	134
第6章 涂料与涂装·····	135
6.1 涂料系统·····	135
6.2 粉末涂料·····	143
6.3 涂层系统·····	145
6.4 涂装技术·····	148
6.5 涂料防腐性能·····	157
参考文献·····	165
第7章 阴极保护·····	166
7.1 阴极保护简介·····	166
7.2 强制电流法阴极保护·····	177
7.3 牺牲阳极法阴极保护·····	186
7.4 阴极保护参数的测量·····	196
7.5 储罐阴极保护技术·····	204
参考文献·····	207
第8章 缓蚀剂·····	209
8.1 缓蚀剂简介·····	209
8.2 缓蚀剂的缓蚀作用原理·····	212
8.3 缓蚀剂的选用原则·····	224
8.4 缓蚀剂性能的测试与评定·····	226
8.5 缓蚀剂在石油工业中的应用·····	230
参考文献·····	239

第 9 章 材料的腐蚀性与评价.....	240
9.1 材料腐蚀性的评定方法	240
9.2 提高材料抗腐蚀性的方法	260
9.3 钢铁材料的腐蚀性	264
9.4 铝及铝合金的腐蚀性	273
9.5 钛及钛合金的腐蚀性	277
参考文献.....	279

绪 论

1. 腐蚀及其定义

材料是人类用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的物质,是现代科学技术和当代文明的重要支柱。在各种材料中,金属及其合金是工程领域、工业部门等用量最大的材料。各种金属设施、构件和机械装备等在使用中离不开环境,这些环境有些对金属的影响很小,有些则具有很高的腐蚀性。

在自然界,绝大多数金属是以离子的形式存在于各种矿石中,是处于低能状态的。当把金属从矿石中提炼(通常称为冶金过程)出来时,需要提供很大的能量,因此冶金所得到的金属是处于高能状态的。冶金所用的矿石往往是典型的金属化合物,如钢铁冶炼时的赤铁矿(Fe_2O_3)、炼铝的铝土矿($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)。从热力学上讲,任何体系包括材料总是趋向于以最低的能量状态存在的,因此冶金所得到的大多数金属处于热力学不稳定的状态,具有自发寻求低能量状态的倾向,如氧化物或其他化合物。因此,从广义上讲,金属转变为低能状态氧化物的过程就是腐蚀,而腐蚀过程正好是冶金的逆过程,最重要的是腐蚀过程是一个自发过程,是不可避免的。

冶金技术水平的提高,可提高生产率和材料的质量,进而提高材料的抗腐蚀性,即提高材料对腐蚀的抗力,但从热力学上来说,腐蚀总是自发的,只不过是特定材料与具体腐蚀环境所组成腐蚀体系的腐蚀速率高低不一而已。寻求冶金手段以外的方法是延缓或控制材料腐蚀的重要技术,即防腐蚀技术。防腐蚀技术的提高,能以少量的投入降低材料的损失率,从而延长构件的使用寿命。

金属材料在人类发展史上占有极为重要的地位,现在和今后都应该是用量最大的材料,被广泛用于各种工程设施、结构和机械装备等,其他材料均不能完全替代它们。这些工程设施等在服役过程除承受外载荷(应力)外,其所处的环境也具有一定的腐蚀性,环境和金属材料的协同作用,在一定的条件下就会发生明显的腐蚀,造成金属材料的损失,同时对这些工程设施等的安全使用产生影响。

大量的工程实践表明,各种工程设施、构件和机械装备等的失效,即丧失其规定的功效,是由它们的服役条件所决定的,主要表现为腐蚀(Corrosion)、断裂(Fracture)和磨损(Wear)三种失效破坏形式,它们发展成了三个独立的综合性边缘学科。与断裂不同,金属的磨损和腐蚀是一个渐变的过程,腐蚀与金属的粉化和氧化有关,且腐蚀损伤的金属转变为离子或化合物,不可恢复。

不可能存在绝对不腐蚀的材料,即便是陶瓷、有机材料也存在腐蚀问题,只不过相对金属材料在相同环境中的腐蚀速率要小得多。所谓的不锈钢,只不过比普通钢具有明显高的腐蚀抗力和明显低的腐蚀速率而已。因此,腐蚀定义为材料与环境之间通过化学反应、电化学反应或物理性溶解引起材料的损失、变质或破坏(针对工程构件、零件)的现象。

2. 腐蚀的危害及其研究意义

材料的腐蚀问题遍及国民经济的各个部门,造成的危害令人触目惊心,概括为巨大的经济损失、灾难性事故、停工停产、环境污染等。

腐蚀的经济损失包括直接的经济损失和间接的经济损失。直接的经济损失是指由腐蚀造成的材料损失。据发达国家估计,金属腐蚀的直接经济损失约占国民经济总产值的 1.5%~4.2%,主要有 1969 年英国 Hoar 报告估计英国的年腐蚀损失 >13.65 亿英镑,1975 年美国 NBS 报告估计美国的年腐蚀损失 >700 亿美元,1992 年 ASM 手册 B 卷估计美国的年腐蚀损失 >1700 亿美元,2003 年《中国腐蚀调查报告》数据指出我国的年腐蚀损失达 5000 亿元。金属结构由腐蚀引起的事故所造成的间接经济损失也很大。

腐蚀若引发重要设施或结构破坏往往会引起灾难性事故,最有影响的是 1988 年英国北海油田阿尔法平台因腐蚀导致爆炸,致使 166 人丧生,北海油田年减产 12%。

在工业生产过程中由于腐蚀损伤引起结构的损坏频繁发生,往往导致停工、停产,不仅会影响正常的生产,而且会造成不必要的经济损失。

腐蚀造成生产中的“跑、冒、滴、漏”,使有毒气体、液体、核放射物质等外逸,不仅污染周围的环境,而且会危及人类的生命安全和健康。如 1990 年美国轻水堆核电站由于腐蚀的原因不仅造成 13 亿美元的经济损失,而且导致人员辐射达 10^4 人·伦。腐蚀失效造成的直接人员伤亡的例子则不胜枚举,例如,1984 年 12 月 3 日美国联合碳化物公司在印度博帕尔市的农药厂泄漏了 45 吨甲基异氰酸酯剧毒物,造成 3500 多人丧生,20 多万人中毒;1985 年 8 月,日航一架波音 747 客机由于机身增压舱端框应力腐蚀断裂而坠毁,机上 524 人全部遇难。

腐蚀造成的危害极大,不仅带来巨大的经济损失,而且给人类赖以生存的环境造成严重的污染以及资源和能源的严重损耗。因此,学习和研究腐蚀的基本原理,减缓和控制腐蚀破坏的发生,不仅有显著的经济效益,而且有巨大的社会效益,同时对促进新技术、新工艺的发展也是必不可少的。实际上,经过人类与腐蚀现象的长期斗争,通过对腐蚀行为、机理和规律较为广泛、深入的研究,已经建立了一定的基础理论,并通过借助相关科学技术的发展,探索出了一系列行之有效的腐蚀控制方法,且已用于材料和工程设备的腐蚀防护。因此,研究材料的腐蚀与控制具有十分重要的意义。

实践表明,若能充分利用现有的防腐蚀技术,实施严格的科学管理,就有可能使腐蚀损失降低 15%~40%,但仍有 50% 以上的腐蚀损失尚无行之有效的腐蚀控制方法加以避免。同时,随着科学技术的进步和社会的发展,原有的腐蚀问题不断得到解决,但新的腐蚀问题也在不断涌现。因此,需要不断加强腐蚀学科的基础理论和防护工程应用技术的研究。

应该指出,由于任何事物都是一分为二的,“腐蚀”既有有害的一面,也有有利的一面,如利用腐蚀现象进行固体燃料电池开发、电化学加工、制备信息硬件的印刷线路、制取奥氏体粉末、腐蚀出金相试样的微观形貌等,均属于腐蚀对人类有利的一面。因此,从科学上深入理解腐蚀的机理,在技术上避免腐蚀的有害效应、利用其有利效应,就可以最大限度地获得人类所追求的经济效益。

综上所述,可以看出学习和掌握材料的腐蚀与控制技术是十分必要的,目的主要在于:①研究材料在各种腐蚀性环境介质作用下的破坏行为,不仅要从热力学方面研究腐蚀发生的可能性,更重要的是研究腐蚀发生的动力学规律和机理,弄清腐蚀过程的控制因素,以指导实际工程构件腐蚀的控制;②以材料的腐蚀理论基础、腐蚀防护技术为应用目标,开发具有高耐腐

蚀性的合金,研究和发​​展腐蚀控制的技术以延长工程结构的使用寿命,同时对制定腐蚀控制的标准及规范具有积极的推动作用;③研究和开发腐蚀测试、检测和监控方法,以保障工程构件安全可靠地运行,防止因腐蚀引发的事故。

3. 腐蚀的分类

材料的腐蚀科学与防护技术实际上是一门涉及多学科的综合性边缘学科,它的理论和实践与金属学、金属物理、材料学、化学、电化学、物理学、物理化学、工程力学、断裂力学、流体力学、化学工程学、机械工程学、微生物学、表面科学、表面工程学、电学、计算机科学等密切相关。因此,作为独立学科的腐蚀科学学科是随着各相关学科的发展逐步完善的。

腐蚀往往首先从材料的表面开始,组成材料的原子或分子脱离材料基体而造成材料的损失,则在材料表面产生腐蚀损伤。随腐蚀过程的发展,材料表面的腐蚀损伤因材料性质和环境特性,其表现形式多种多样。腐蚀可按机理、环境、腐蚀损伤形态等多种方法进行分类。

按腐蚀的机理可将腐蚀分为化学腐蚀(Chemical corrosion)和电化学腐蚀(Electrochemical corrosion)。化学腐蚀是材料与环境中的成分直接通过化学反应而引起的腐蚀,如金属与大气中的氧发生氧化反应形成氧化物,通常只有在高温下氧化才会产生明显的金属损失,故将其称为高温氧化;又如金属在酸、碱等化学药品中的腐蚀。电化学腐蚀是金属在电解质溶液中通过电化学反应而引起的金属腐蚀。电化学的腐蚀过程,包括一对共轭的氧化、还原反应,腐蚀过程中有电子的迁移,即有电流产生。在常温水溶液、自然环境中,金属的腐蚀基本属于电化学腐蚀。

按照腐蚀损伤的形态或引起材料的破坏形式,可将腐蚀分为均匀腐蚀和局部腐蚀两大类。所谓均匀腐蚀是指腐蚀发生在整个金属材料的表面,其结果是导致金属表面均匀减薄。局部腐蚀则是指腐蚀集中发生在金属材料表面的局部不大面积内,而其余大部分表面腐蚀十分轻微,甚至不发生腐蚀。在各类腐蚀失效事例中,80%为局部腐蚀破坏。局部腐蚀按形态、部位等可划分为电偶腐蚀、点腐蚀、晶间腐蚀、缝隙腐蚀等。

按照环境的特性可将腐蚀分为气体腐蚀、非电解质溶液中的腐蚀、大气腐蚀、海水腐蚀、土壤腐蚀、电解质溶液中的腐蚀、生物腐蚀和人体腐蚀等,其中气体腐蚀、非电解质溶液中的腐蚀属于化学腐蚀,其余以电化学腐蚀为主。

工业合金的各组分或组成相通常存在化学的或电化学的差异,导致合金在腐蚀环境中首先发生选择性腐蚀。选择性腐蚀(Selective corrosion)是某些组分或组成相不按其在合金中所占的比例进行反应所发生的合金腐蚀。在合金腐蚀过程中,在表面上某些特定部位优先产生选择性的溶解现象。金属固溶体的组元之一,优先地由于腐蚀而转入溶液,而金属表面则逐渐地富集了另一组元,称为组元的选择性腐蚀,如黄铜脱锌。在多相合金中,任何一相发生优先溶解,称之为组织的选择性腐蚀。铸铁因腐蚀而发生铁素体的溶解,碳化物和石墨在表面上富集是这类腐蚀的实例。由于腐蚀后剩下一个已优先除去某种合金组分的组织结构,因此也常称为去合金化。去合金化后材料总的尺寸变化不大,但金属已失去了强度,因而易于发生危险事故。

按照构件工作条件、力学性质可将腐蚀分为流体力学-化学腐蚀和固体力学-化学腐蚀(或断裂腐蚀)。流体力学-化学腐蚀包括空泡腐蚀和冲刷腐蚀。固体力学-化学腐蚀包括应力腐蚀开裂、氢脆和腐蚀疲劳。

非金属材料(无机非金属材料、有机材料)的腐蚀机理与金属材料有所不同。金属材料的

腐蚀有化学腐蚀和电化学腐蚀之分,而非金属材料的腐蚀破坏通常为纯化学作用和物理作用,如塑料的氧化和水解腐蚀均为化学变化,紫外线辐射引起的老化也是一种氧化过程,而辐射导致的高分子材料的分解则为物理作用的结果。硅酸盐材料的腐蚀破坏通常也是由于化学的或物理的因素所致,并非电化学过程引起的。

4. 本书的内容

本书紧密围绕材料腐蚀的基础理论和工程应用这两个主题,系统地介绍了金属尤其是钢铁材料在腐蚀环境中腐蚀的机制、动力学规律和各种防护方法的原理,以期为工程实践中材料腐蚀的控制提供参考。全书共9章,第1章主要介绍了管道成型及管道用钢的特点;第2章介绍了金属高温腐蚀的热力学和动力学理论;第3章介绍了金属在电解质溶液中电化学腐蚀的热力学和电极动力学理论;第4章介绍了局部腐蚀的现象、产生原理和控制措施;第5章阐述了典型自然环境中的腐蚀现象和规律,以及油气工业中二氧化碳、硫化氢腐蚀的基本问题;第6~8章介绍了涂层、阴极保护和缓蚀剂防腐蚀措施的原理和应用;第9章介绍了材料的腐蚀性和评价方法,并列出了常见材料腐蚀体系的腐蚀速率结果。

本书选择管道这一典型工程构件并列出了大量有关管道及管道材料腐蚀规律与控制的实例,突出了腐蚀的理论基础与工程实践的结合。因此,本书的内容具有很强的实践性和实用性。

第 1 章 管道及管道用钢

1.1 管道及其分类

1.1.1 管道

管道(Pipe)是用各种材料制成的管子(Tube)的通称。管子是具有长度大于截面尺寸,且截面为空心的工程构件,如图 1-1 所示。直径小的空心构件称为管子,直径大的空心构件称为管道。若干个空心管道构件连接在一起组成管道。当管道的长度很长,达到几万米到几百万米时,称为管线。



图 1-1 圆形截面管道

制造管道的材料很多,实际工程所使用的大多为钢铁材料,所以将钢材制造的管道称为钢管。钢管生产技术的发展始于自行车制造业的兴起。19 世纪初期石油的开发,两次世界大战期间舰船、锅炉、飞机的制造,第二次世界大战后火电锅炉的制造,化学工业的发展以及石油天然气的钻采和运输等,都有力地推动着钢管工业在品种、产量和质量上的发展。

钢管不仅用于输送气体、输送流体和粉状固体、交换热能、制造机械零件和容器,它还是一种经济钢材。用钢管制造建筑结构网架、支柱和机械支架,不仅可以减轻质量,节省金属 20%~40%,而且可实现工厂机械化施工。用钢管制造公路桥梁不但可节省钢材、简化施工,而且可大大减少涂层保护的面积,节约投资和维护费用。所以,任何其他类型的钢材都不能完全代替钢管,但钢管可以代替部分型材和棒材。钢管与国民经济发展和人类生活品质的提高关系甚大,远胜于其他钢材。从人们的日常用具、家具、供排水、供气、通风和采暖设施到各种农机用具的制造,地下资源的开发,国防和航天所用枪炮、子弹、导弹、火箭等都离不开钢管。

正由于钢管与人类生活、生产活动密不可分,钢管工业的生产技术不仅发展迅速,而且推陈出新,钢管生产在钢铁工业中占有不可替代的位置。

1.1.2 管道的分类

钢管按截面形状可分为圆形管、方形管、矩形管、八角形管、六角形管、D形管、五角形管、异形钢管等。还有一些复杂断面的钢管,如双凹型钢管、五瓣梅花形钢管、圆锥形钢管、波纹形钢管、瓜子形钢管、双凸形钢管等。

钢管按用途可分为管道用钢管、热工设备用钢管、机械工业用钢管、石油与地质钻探用钢管、容器钢管、化学工业用钢管、特殊用途钢管等。

钢管按成型工艺可分为无缝钢管和有缝钢管两类。无缝钢管是一种具有中空截面、周边没有接缝的长条形钢材。有缝钢管是中空截面、周边有接缝的长条形钢材,主要是焊接钢管,用钢板或钢带经过卷曲成型后由焊接方法制成。

无缝钢管按其制造工艺可以分为热轧(挤压)、冷轧(拔)、热扩钢管。

焊接钢管按焊缝的形式可分为直缝焊管和螺旋焊管,按照制造工艺可以分为直缝焊接钢管、埋弧焊接钢管、板卷对接焊钢管、焊管热扩钢管。

焊接钢管生产工艺简单,生产效率高,品种规格多,设备投资少。随着优质带钢连轧生产的迅速发展以及焊接和检验技术的进步,焊缝质量不断提高,焊接钢管具有强度高、尺寸精度高的特点,其品种规格也日益增多,并在越来越多的领域代替了无缝钢管。

1.2 无缝钢管成型

1.2.1 无缝钢管成型工艺流程

无缝钢管(Seamless pipe)成型工艺流程:管坯→检验→剥皮→检验→加热→穿孔→酸洗→修磨→润滑风干→焊头→冷拔→退火处理→酸洗→酸洗钝化→检验→冷轧→去油→切头→风干→内抛光→外抛光→检验→标识→成品包装。

1.2.2 热轧无缝管成型

热轧无缝管一般在自动轧管机组上生产。热轧无缝管的实心管坯经检查并清除表面缺陷,截成所需长度,在管坯穿孔端端面上定心,然后送往加热炉加热,而后在穿孔机上穿孔,如图1-2所示。穿孔机的主要部件是由一对轧辊和一个穿孔顶头组成的。当穿孔时,管坯不断旋转和前进,进入同向旋转的一对轧辊,在轧辊和芯轴(或顶头)的作用下,管坯内部逐渐形成空腔,管子继续前进到达轧辊的另一端,得到具有空心截面的管段,通常称为毛管。

在热轧无缝管的过程中,将管坯加热使其处于奥氏体状态,钢的强度显著降低,塑性明显提高,具有良好的压力加工性能,管坯不断旋转和前进,进入轧辊,在顶头的作用下在管坯内部容易形成空腔。

热轧无缝管所得到的毛管,管子的壁比较厚,长度也比较短,尺寸精度不高,需要进一步轧制,减小壁厚和增加长度,如图1-3所示。毛管的轧制过程一般采用连轧工艺(如Pilger连轧)。连轧机是由若干对轧辊组成的,每对轧辊反向旋转,带有芯棒的毛管旋转进入连轧的轧辊,芯棒限定了管子的内径,轧辊的间距限定了管子的外径。当毛管通过连轧的轧辊时,管子的壁厚减薄,同时长度再增加。

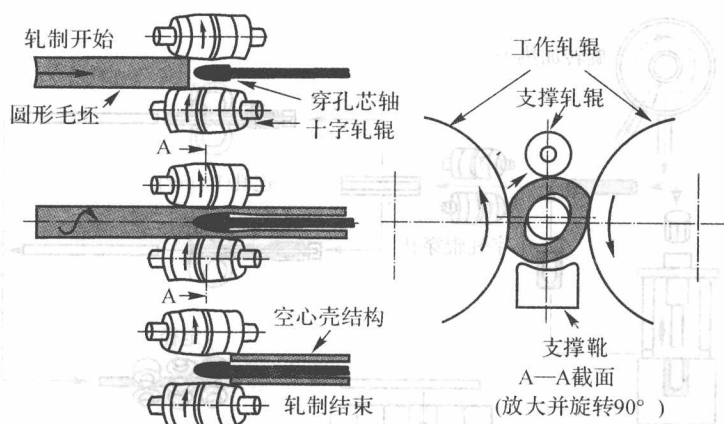


图 1-2 热轧无缝管的穿孔

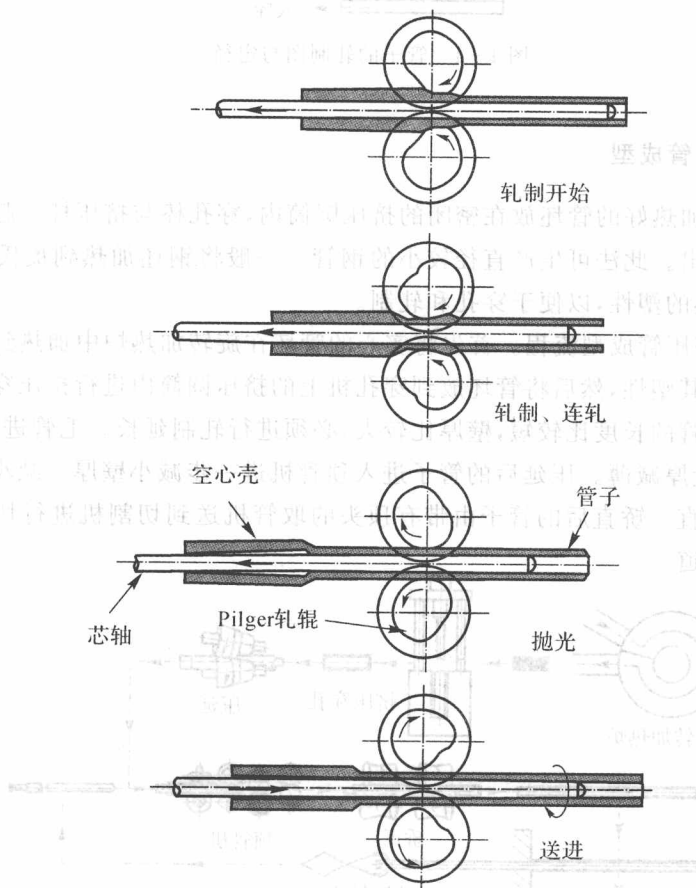


图 1-3 毛管的连轧

毛管连轧后,其外径还没有达到成品的要求,需要在定径机上进行定径,Pilger 连轧后需要对管子进行定径,如图 1-4 所示。当定径时,连轧的管子通过 3 对交叉的轧辊,轧制后管子的外径达到成品管的要求。利用连续式轧管机组生产热轧无缝钢管是较先进的方法。

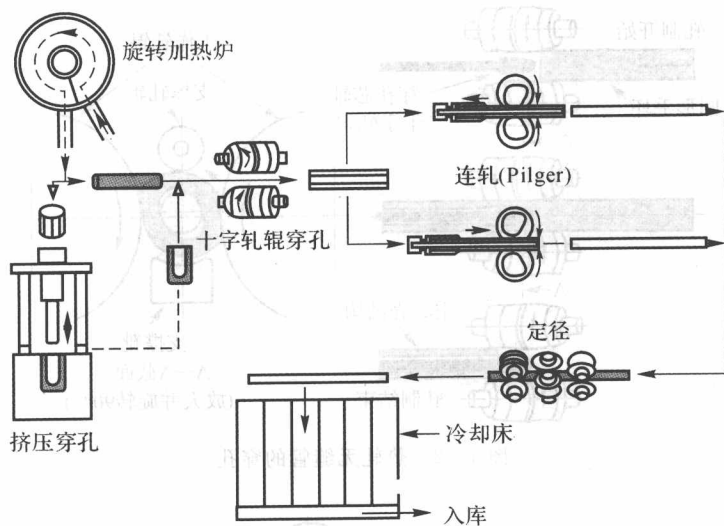


图 1-4 管子的轧制图与定径

1.2.3 热挤压管成型

热挤压法即将加热好的管坯放在密闭的挤压圆筒内,穿孔棒与挤压杆一起运动,使挤压件从较小的模孔中挤出。此法可生产直径较小的钢管。一般将钢坯加热到奥氏体状态,降低钢坯的强度,增加钢坯的塑性,以便于穿孔和轧制。

图 1-5 为热挤压管成型流程。首先将实心的管坯在旋转加热炉中加热到奥氏体状态,降低钢的强度并增加其塑性,然后将管坯放到穿孔机上的挤压圆筒内进行挤压穿孔而得到毛管,即空心的管坯。毛管的长度比较短,壁厚比较大,必须进行轧制延长。毛管进入延伸轧机的轧辊增加长度,同时壁厚减薄。压延后的管子进入顶管机进一步减小壁厚。减小壁厚后的管子,进入矫直机进行矫直。矫直后的管子由带有顶头的取管机送到切割机进行切割,切割后得到一定长度的成品管道。

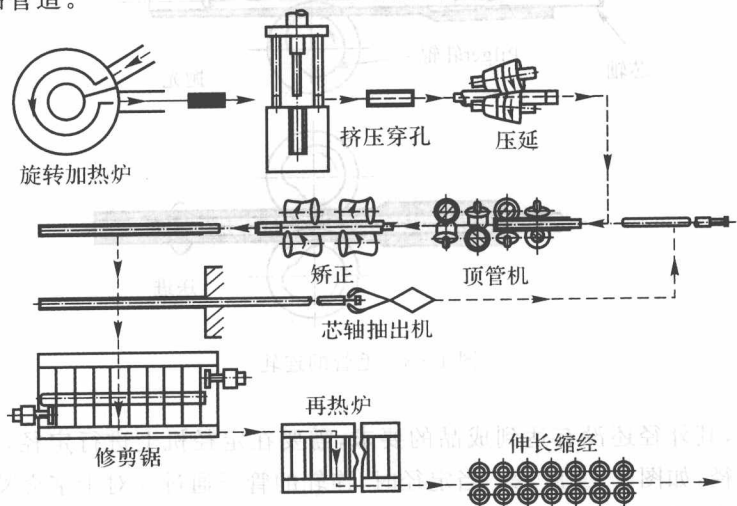


图 1-5 热挤压管成型流程

有些管子需要进一步连轧时,需要重新加热,进入连轧机进行连轧,进一步减小管子的壁厚和管径,可得到直径更小的钢管。

1.2.4 冷轧管成型

若欲获得尺寸更小和质量更好的无缝管,必须采用冷轧、冷拔或者两者联合的方法。冷轧管成型采用热轧穿孔的管子。冷轧管成型时,不需要对管子进行加热,而是利用管子的塑性变形达到成型的目的,这就要求管子的材料具有足够的塑性。

冷轧通常在二辊式轧机上进行,如 0.5~100 t 的单链式或双链式冷轧机如图 1-6 所示,钢管在变断面圆孔槽和不动的锥形顶头所组成的环形孔型中轧制。

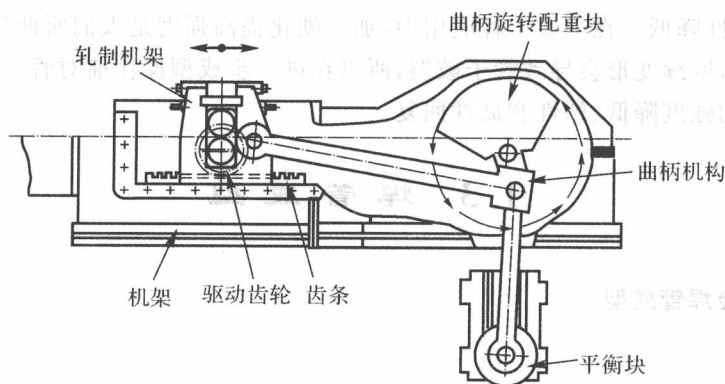


图 1-6 冷轧管成型

在冷轧过程中,空心管带有芯棒,芯棒保证管子的内径。管子通过轧辊,经历压力而产生塑性变形,并被轧长,如图 1-7 所示。

冷拔是将热轧后的空心管在拉力作用下通过模孔,进行减径和拉长,如图 1-8 所示。冷拔时管子穿过模孔,其外径减小,在管子缩颈处材料产生塑性变形,从而产生加工硬化,以保证在拉力作用下管子不会在缩颈处发生断裂,即保证管子的成型能力,因此管子材料必须具有足够的塑性和加工硬化能力。通常采用的冷拔方式有四种:①空心管冷拔;②管子带芯棒一起冷拔;③固定芯棒冷拔;④浮动芯棒冷拔。

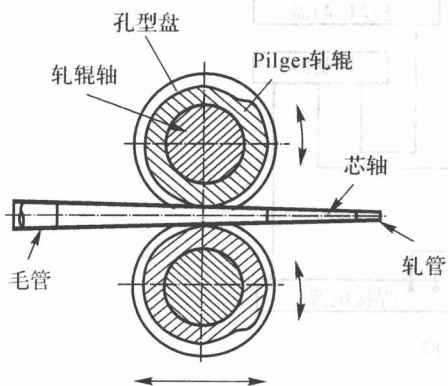


图 1-7 冷轧原理

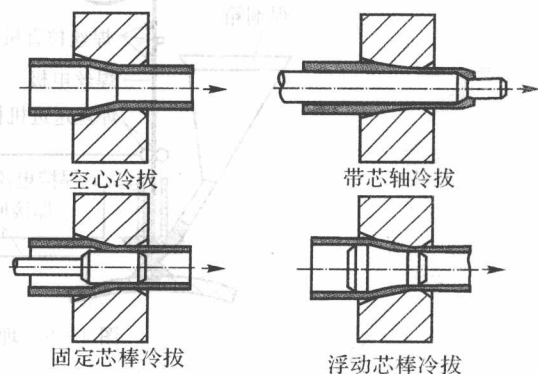


图 1-8 冷拔方式

在空心管冷拔过程中,管子外径减小,外表面通过模孔变得光滑,管子外表面质量很高,但由于管内是空的,管子的壁厚没有明显的减小。

在管子带芯棒冷拔过程中,管子内插入芯棒,并拉过冷拔模的模孔,管子的外径和内径以及壁厚一起减小。每次冷拔面积的减少量比芯棒冷轧的要大,但管子的长度受芯棒长度的限制。

在芯棒冷拔过程中,无论是固定芯棒还是浮动芯棒,在管子拉过的模孔间形成一个环形空间,管子的内径、外径及管子的壁厚处在规定的范围,内外表面均比较光滑。一般来说,固定芯棒冷轧主要应用于每次冷拔面积减小在 45% 以内的管子。浮动芯棒冷轧主要用于生产很长的小直径管子。

管子在冷拔成型过程中,塑性变形使得钢产生应变硬化,钢的屈服强度、抗拉强度升高,但钢的延伸率和韧性降低。在很多工程应用中,加工硬化提高强度是人们所期望的。但是,由于钢延展性的降低,继续变形会导致管子破裂,所以在进一步成型操作前对管子要进行再结晶退火热处理,使钢的强度降低、塑性和韧性回复。

1.3 焊管成型

1.3.1 螺旋焊管成型

1. 埋弧焊接

埋弧焊(Submerged arc welding)是一种由电弧在焊剂层下燃烧进行焊接的方法。其固有的焊接质量稳定、焊接生产率高、无弧光及烟尘很少等优点,使其成为压力容器、管段制造、箱型梁柱等重要钢结构成型中的主要焊接方法。

埋弧焊可以由手工来完成,而对焊接质量要求高的管道在实际应用中主要采用埋弧自动焊,可显著提高生产效率。工厂里生产焊接管道时,采用管道的移动实现自动焊接,而在现场的焊接则采用电弧的移动。埋弧自动焊接时,引燃电弧、送丝、电弧沿焊接方向移动及焊接收尾等过程完全由机械来完成,埋弧自动焊过程如图 1-9 所示。

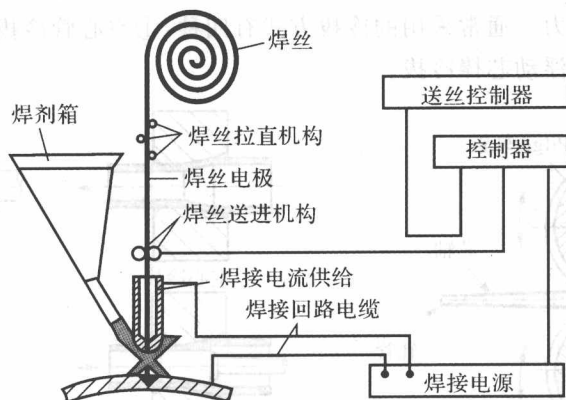


图 1-9 埋弧焊原理

焊剂装在焊剂箱(料斗)中,由漏斗流出,均匀地堆敷在装配好的工件上,焊丝由送丝机构经送丝滚轮、拉直机构和导电嘴送入焊接电弧区。焊接电源的两端分别接在导电嘴和工件上。