

“新闻出版改革发展项目库” 入库项目  
“十二五” 国家重点图书

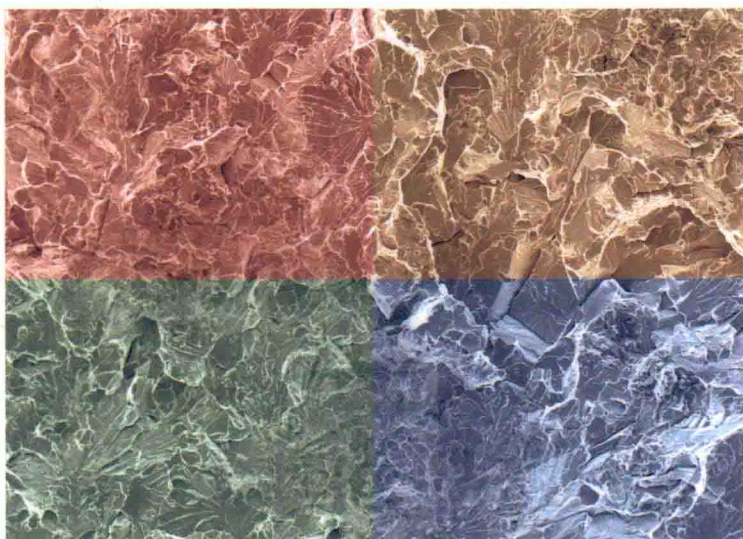


特殊钢 丛书

Special Steel Book Series

# 镍及其耐蚀合金

康喜范 著



冶金工业出版社

[www.cnmp.com.cn](http://www.cnmp.com.cn)

“新闻出版改革发展项目库”入库项目  
“十二五”国家重点图书

特殊钢丛书

# 镍及其耐蚀合金

康喜范 著

北京  
冶金工业出版社  
2016

## 内 容 简 介

全书共分 12 章, 主要内容包括: 镍基和铁镍基耐蚀合金的分类及物理性质; 镍、镍基和铁镍基耐蚀合金的腐蚀行为和耐蚀性; 纯镍; Ni-Al 耐蚀合金; Ni-Cu 耐蚀合金; Ni-Cr 耐蚀合金; Ni-Mo 耐蚀合金; Ni-Cr-Mo 耐蚀合金; Ni-Cr-Mo-Cu 耐蚀合金; Ni-Fe-Cr 铁镍基耐蚀合金; Ni-Fe-Cr-Mo 铁镍基耐蚀合金; Ni-Fe-Cr-Mo-Cu 铁镍基耐蚀合金。

本书可供从事钢铁、石油天然气开采、石油化工、化学加工、能源工业、湿法冶金、海洋开发、环境保护、金属材料等相关专业的工程技术人员参考和研究生使用, 也可供从事相关研究和开发的工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

镍及其耐蚀合金/康喜范著. —北京: 冶金工业出版社, 2016. 11

(特殊钢丛书)

ISBN 978-7-5024-7256-6

I. ①镍… II. ①康… III. ①镍基合金—耐蚀合金  
IV. ①TG146. 1 ②TG133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016) 第 223838 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 郭冬艳 美术编辑 彭子赫 版式设计 彭子赫

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7256-6

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 固安华明印业有限公司印刷

2016 年 11 月第 1 版, 2016 年 11 月第 1 次印刷

169mm × 239mm; 31 印张; 604 千字; 480 页

99.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

# 《特殊钢丛书》

## 编辑委员会

主 编 徐匡迪

编 审 刘嘉禾 杨树森

编 委 (按姓氏笔画为序)

马绍弥 王一德 王洪发 王剑志 兰德年

刘正东 刘 宇 刘 苏 刘振清 孙开明

李士琦 李正邦 李依依 李国忠 李鹤林

张晓刚 陈 列 陈国良 陈思联 林慧国

洪及鄙 钱 刚 殷国茂 董学东 董 瀚

谢 蔚

# 《特殊钢丛书》序言

特殊钢是众多工业领域必不可少的关键材料，是钢铁材料中的高技术含量产品，在国民经济中占有极其重要的地位。特殊钢材占钢材总量比重、特殊钢产品结构、特殊钢质量水平和特殊钢应用等指标是反映一个国家钢铁工业发展水平的重要标志。近年来，在我国社会和经济快速健康发展的带动下，我国特殊钢工业生产和产品市场发展迅速，特殊钢生产装备和工艺技术不断提高，特殊钢产量和产品质量持续提高，基本满足了国内市场的需求。

目前，中国经济已进入重工业加速发展的工业化中期阶段，我国特殊钢工业既面临空前的发展机遇，又受到严峻的挑战。在机遇方面，随着固定资产投资和汽车、能源、化工、装备制造和武器装备等主导产业的高速增长，全社会对特殊钢产品的需求将在相当长时间内保持在较高水平上。在挑战方面，随着工业结构的提升、产品高级化，特殊钢工业面临着用户对产品品种、质量、交货时间、技术服务等更高要求的挑战，同时还在资源、能源、交通运输短缺等方面需应对日趋激烈的国内外竞争的挑战。为了迎接这些挑战，抓住难得发展机遇，特殊钢企业应注重提高企业核心竞争力以及在资源、环境方面的可持续发展。它们主要表现在特殊钢产品的质量提高、成本降低、资源节约型新产品研发等方面。伴随着市场需求增长、化学冶金学和物理金属学发展、冶金生产工艺优化与技术进步，特殊钢工业也必将日新月异。

从20世纪70年代世界第一次石油危机以来，工业化国家的特殊钢生产、产品开发和工艺技术持续进步，已基本满足世界市场需求、资源节约和环境保护等要求。近年来，在国家的大力支持下，我国科研院所、高校和企业的研发人员承担了多项国家科技项目工作，在特殊钢的基础理论、工艺技术、产品应用等方面也取得了显著成绩，特

别是近 20 年来各特钢企业的装备更新和技术改造促进了特殊钢行业进步。为了反映特殊钢技术方面的进展，中国金属学会特殊钢分会、先进钢铁材料技术国家工程研究中心和冶金工业出版社共同发起，并由先进钢铁材料技术国家工程研究中心和中国金属学会特殊钢分会负责组织编写了新的《特殊钢丛书》，它是已有的由中国金属学会特殊钢分会组织编写《特殊钢丛书》的继续。由国内学识渊博的学者和生产经验丰富的专家组成编辑委员会，指导丛书的选题、编写和出版工作。丛书编委会将组织特殊钢领域的学者和专家撰写人们关注的特殊钢各领域的技术进展情况。我们相信本套丛书能够在推动特殊钢的研究、生产和应用等方面发挥积极作用。本套丛书的出版可以为钢铁材料生产和使用部门的技术人员提供特殊钢生产和使用的技术基础，也可为相关大专院校师生提供教学参考。本套丛书将分卷撰写，陆续出版。丛书中可能会存在一些疏漏和不足之处，欢迎广大读者批评指正。

《特殊钢丛书》编委会主编  
中国工程院院长



2008 年夏

# 前 言

镍及其耐蚀合金，实际上是一系列高镍( $w(\text{Ni}) \geq 30\%$ )耐蚀结构材料，它包括耐蚀纯镍、耐蚀低合金化镍-铝，镍基和铁镍基耐蚀合金。它的主要使用性能是合金的耐蚀性，涵盖耐全面腐蚀，耐晶间腐蚀，耐点蚀和缝隙腐蚀，耐应力腐蚀等，鉴于合金的这种特性，其服役范围非常广泛，成为各类化学加工、石油化工、石油天然气开采、海洋工程、环境治理、湿法冶金、能源工业、核燃料生产和核能开发以及航空、航天领域不可缺少和不可取代的重要原材料，为各工业部门的发展做出了卓越贡献。

在高镍合金中，另一重要合金系列是高镍高温合金也称超合金。高镍耐蚀合金和高温合金，尽管同属高镍合金，但两者在主要使用性能、合金化原则，生产工艺等方面存在显著差别，请不要混淆，以免误事。

中国高镍耐蚀合金的应用始于20世纪50年代的Ni-Cu耐蚀合金蒙乃尔合金(Monel 400)的工业生产和工程应用。对于其他耐蚀合金的研究和开发，开始于20世纪60年代初，当时的驱动力是提供能满足核燃料生产的湿法和干法生产工艺所需主体设备用耐蚀结构材料。自此之后，我国投入了大量的人力、物力开始了系统的耐蚀合金的研究和发展，涉猎领域包括Ni-Cr、Ni-Mo、Ni-Cr-Mo、Ni-Cr-Mo-Cu等镍基耐蚀合金和Ni-Fe-Cr、Ni-Fe-Cr-Mo、Ni-Fe-Cr-Mo-Cu、Ni-Fe-Cr-Mo-Cu-N等铁镍基耐蚀合金，基本上覆盖了国内外所有的高镍耐蚀合金系列。经过半个多世纪的工作，至今已形成合金系列较完整的中国耐蚀合金牌号标准，生产装备已较开创时期有重大改观，目前已可提供各种板材(包括中厚板)、各种管材(含大口径 $\phi 800\text{mm}$ 以上)厚壁管，各种锻件以及棒线丝材等冶金产品，为我国各行各业所需高镍耐蚀合金提供了技术保证。这种重大进步得益于不间断的科研累积和改革开放以来企业家的战略投资开始发挥作用。这两点使高镍耐蚀合金得以稳妥

快速发展的基础，很难想象，没有科研积累，没有先进的生产工艺装备就能快速研发这些高、精尖和生产难度极大的新材料。

作者本人有幸参加了中国高镍耐蚀合金初创时期的一些研究工作，可以说我的科研职业生涯始于对耐蚀合金的研究，历经 50 年的风风雨雨，见证了初创时期的艰苦和科技工作者辛苦工作的场面，回顾往事成功大于失望，一种成功的幸福感驱使自己 and 同事们不断前行，50 年未曾中断。

在离开科研第一线时，总想再做点什么，于是将自己的文稿和读书笔记做些整理，并对早期的书稿再做补充，增补近年来的一些研究成果，写就本书。本书共 12 章，概述了高镍耐蚀合金主要研究和发展的、高镍耐蚀合金的基本物理冶金知识，关键合金元素在合金耐蚀方面的功能效果，典型耐蚀合金牌号的化学成分组织结构、性能和应用。试图给读者更多的技术信息。如果书中某段文字，某一个图表对读者研发新材料，选用恰当的合金或者生产一种耐蚀材料产品有所启发和帮助，作者将感到极大的欣慰。

本书在写作过程中使用了大量的科研数据，这些数据的获得需付出艰苦的劳动，在这里对参考文献的作者和与我共事的领导和同事在我整个科研活动生涯中给予我的指导、支持和帮助表示衷心的感谢。本书的出版，感谢钢铁研究总院副院长董瀚教授的关心和支持，感谢博士刘剑辉的帮助，在此致以深深的谢意。

由于作者本人学识水平所限，书中不妥之处，恳请广大读者批评指正。

康喜范

2015 年 12 月  
于钢铁研究总院



# 目 录

1 概述 .....	1
1.1 定义和分类 .....	1
1.1.1 定义 .....	1
1.1.2 镍基和铁镍基耐蚀合金的分类 .....	1
1.2 镍基和铁镍基耐蚀合金的近代发展 .....	2
1.2.1 Ni-Cu 耐蚀合金 .....	8
1.2.2 Ni-Cr-Fe 耐蚀合金 .....	8
1.2.3 Ni-Mo 耐蚀合金 .....	8
1.2.4 Ni-Cr-Mo 和 Ni-Cr-Mo-W 耐蚀合金 .....	9
1.2.5 Ni-Cr-Mo-Cu 耐蚀合金 .....	9
1.2.6 Ni-Fe-Cr 铁镍基耐蚀合金 .....	10
1.2.7 Ni-Fe-Cr-Mo 铁镍基耐蚀合金 .....	10
1.2.8 Ni-Fe-Cr-Mo-Cu 铁镍基耐蚀合金 .....	10
1.3 镍基和铁镍基耐蚀合金的物理冶金 .....	12
1.3.1 主要合金元素的作用 .....	12
1.3.2 耐蚀合金中的碳化物 .....	13
1.3.3 耐蚀合金中的金属间相 .....	17
参考文献 .....	20
2 镍、镍基和铁镍基耐蚀合金的腐蚀行为和耐蚀性 .....	23
2.1 全面腐蚀 .....	24
2.1.1 镍、镍基和铁镍基耐蚀合金在酸溶液中的腐蚀 .....	25
2.1.2 镍及其耐蚀合金在碱溶液中的腐蚀 .....	38
2.1.3 在高温 F、Cl <sup>-</sup> 、HCl、HF 和 BrF <sub>5</sub> 中镍及其耐蚀合金的腐蚀 .....	40
2.2 晶间腐蚀 .....	44
2.2.1 Ni-Cr 合金系 .....	45
2.2.2 Ni-Mo 合金系 .....	46

2.2.3 Ni-Cr-Mo 合金系 .....	48
2.3 点腐蚀和缝隙腐蚀 .....	49
2.3.1 镍基和铁镍基耐蚀合金在酸性 $\text{FeCl}_3$ 中的耐点蚀和 耐缝隙腐蚀性能 .....	50
2.3.2 镍基和铁镍基耐蚀合金在氧化性酸性氯化物溶液 (Green Death 溶液) 中的耐点蚀和耐缝隙腐蚀性能 .....	50
2.3.3 在海水中的耐缝隙腐蚀性能 .....	52
2.4 应力腐蚀 (SCC) .....	53
2.4.1 影响合金耐 SCC 的合金成分因素 .....	54
2.4.2 影响合金耐 SCC 的显微组织因素 .....	57
2.4.3 在卤族化合物环境中的 SCC .....	58
2.4.4 在含硫类物质环境中的 SCC .....	61
2.4.5 镍基和铁镍基耐蚀合金的苛性应力腐蚀 .....	63
2.4.6 在高温纯水中的 SCC .....	65
参考文献 .....	67
<b>3 纯镍</b> .....	<b>71</b>
3.1 镍碳二元相图 .....	71
3.2 热加工纯镍的性能 .....	71
3.2.1 Ni200 和 Ni201 的化学成分 .....	72
3.2.2 室温力学性能 .....	72
3.2.3 低温性能 .....	72
3.2.4 高温力学性能 .....	76
3.2.5 Ni200 和 Ni201 的耐蚀性 .....	77
3.2.6 热加工、冷成型、热处理和焊接性能 .....	85
3.2.7 Ni200 和 Ni201 的物理性能 .....	86
3.3 应用 .....	87
参考文献 .....	88
<b>4 Ni-Al 耐蚀合金</b> .....	<b>89</b>
4.1 杜拉镍 301 的化学成分 .....	90
4.2 杜拉镍 301 的性能 .....	90
4.2.1 室温力学性能 .....	90

4.2.2	高温力学性能 .....	93
4.2.3	耐蚀性 .....	93
4.2.4	热加工、冷成型、热处理和焊接性能 .....	94
4.2.5	物理性能 .....	95
4.3	应用 .....	96
	参考文献 .....	96
<b>5</b>	<b>Ni-Cu 耐蚀合金</b> .....	<b>97</b>
5.1	铜对镍耐蚀性的影响 .....	97
5.1.1	铜对镍电化学行为的影响 .....	97
5.1.2	铜对镍耐蚀性的影响 .....	99
5.2	常用镍铜耐蚀合金的组织、性能和应用 .....	101
5.2.1	Ni68Cu28Fe (Monel 400) .....	101
5.2.2	Ni68Cu28Al (Monel K-500) .....	128
	参考文献 .....	136
<b>6</b>	<b>Ni-Cr 耐蚀合金</b> .....	<b>137</b>
6.1	铬对镍耐蚀性的影响 .....	138
6.1.1	铬对镍电化学行为的影响 .....	138
6.1.2	铬对镍在氧化性酸介质中耐蚀性的影响 .....	139
6.1.3	铬对镍在强氧化性硝酸中耐蚀性的影响 .....	139
6.1.4	铬对镍在高温气体中耐蚀性的影响 .....	141
6.1.5	铬对 Ni-Cr 合金应力腐蚀行为的影响 .....	142
6.2	常用镍铬耐蚀合金的组织、性能和应用 .....	142
6.2.1	0Cr15Ni75Fe (Inconel 600, NS 3102) .....	143
6.2.2	0Cr23Ni63Fe14Al 合金 (Inconel 601, NS 3103) .....	165
6.2.3	0Cr20Ni65Ti3AlNb (NS 4101) .....	173
6.2.4	0Cr15Ni70Ti3AlNb (Inconel X-750) .....	176
6.2.5	0Cr30Ni60Fe10 (Inconel 690, NS 3105) .....	183
6.2.6	0Cr35Ni65Al (Corronel 230, NS 3104) .....	191
	参考文献 .....	197
<b>7</b>	<b>Ni-Mo 耐蚀合金</b> .....	<b>199</b>
7.1	Ni-Mo 二元相图和中间相 .....	199

7.2 钼和铁、铬对 Ni-Mo 合金性能的影响 .....	200
7.2.1 钼对镍性能的影响 .....	200
7.2.2 铁、铬对 Ni-Mo 合金性能的影响 .....	200
7.3 常用镍钼耐蚀合金的组织、性能和应用 .....	206
7.3.1 0Mo28Ni65Fe(Hastelloy B, NS 3201) .....	207
7.3.2 00Mo28Ni65Fe2(Hastelloy B-2, NS 3202) .....	221
7.3.3 00Mo30Ni65Fe2Cr2(Hastelloy B-3, NS 3203) .....	229
7.3.4 00Mo28Ni65Fe4Cr(Hastelloy B-4, NS 3204) .....	237
参考文献 .....	240
<b>8 Ni-Cr-Mo 耐蚀合金</b> .....	<b>241</b>
8.1 Ni-Cr-Mo 三元相图和相 .....	241
8.2 Ni-Cr-Mo 耐蚀合金中的合金元素及其作用 .....	243
8.2.1 Cr、Mo 的作用 .....	243
8.2.2 Fe 对 Ni-16Cr-16Mo-4W 合金耐蚀性的影响 .....	245
8.2.3 Cu 对 00Cr16Ni60Mo16 合金耐蚀性的影响 .....	246
8.3 镍铬钼耐蚀合金的组织、性能和应用 .....	248
8.3.1 0Cr16Ni60Mo16W4(Hastelloy C, NS 3303) .....	251
8.3.2 00Cr16Ni60Mo16W4(Hastelloy C-276, NS 3304) .....	262
8.3.3 00Cr16Ni65Mo16Ti(Hastelloy C-4, NS 3305) .....	270
8.3.4 00Cr22Ni60Mo13W3(Hastelloy C-22, NS 3308) .....	276
8.3.5 00Cr21Ni58Mo16W4(Inconel 686, NS 3309) .....	286
8.3.6 00Cr23Ni59Mo16(Nicrofer 5923hMo-alloy 59, NS 3311) .....	295
8.3.7 00Cr23Ni59Mo16Cu2(Hastelloy C-2000) .....	301
8.3.8 0Cr22Ni60Mo9Nb4(Inconel 625, NS 3306) .....	307
8.3.9 00Cr16Ni76Mo2Ti(NS 3301) .....	315
8.3.10 00Cr33Ni55Mo8(Hastelloy G-35) .....	321
8.3.11 00Cr20Ni60Mo8Nb3Ti(Inconel 725) .....	328
参考文献 .....	337
<b>9 Ni-Cr-Mo-Cu 耐蚀合金</b> .....	<b>339</b>
9.1 铜对镍铬钼合金耐蚀性的影响 .....	339
9.2 常见几种镍铬钼铜耐蚀合金的组织、性能和应用 .....	341

9.2.1	几种合金的化学成分和组织结构 .....	341
9.2.2	力学性能 .....	341
9.2.3	在各种介质中的耐蚀性 .....	341
9.2.4	热加工、冷加工、热处理和焊接性能 .....	350
9.2.5	应用 .....	350
	参考文献 .....	350
<b>10</b>	<b>Ni-Fe-Cr 铁镍基耐蚀合金</b> .....	<b>352</b>
10.1	铬对 Fe-Ni 合金耐蚀性的影响 .....	354
10.2	常用 Ni-Fe-Cr 耐蚀合金成分、组织、性能和应用 .....	358
10.2.1	Cr20Ni32 型耐应力腐蚀合金(Incoloy 800, NS 1101) .....	358
10.2.2	00Cr25Ni35AlTi(新 13 号耐应力腐蚀合金, NS 1103) .....	370
	参考文献 .....	376
<b>11</b>	<b>Ni-Fe-Cr-Mo 铁镍基耐蚀合金</b> .....	<b>377</b>
11.1	钼对镍-铁-铬合金耐蚀性的影响 .....	377
11.2	0Cr20Ni43Mo13(NS 1301)耐蚀合金的组织性能和应用 .....	379
11.2.1	化学成分和组织特点 .....	379
11.2.2	室温力学性能 .....	379
11.2.3	耐蚀性 .....	379
11.2.4	热加工、冷加工、热处理和焊接性能 .....	380
11.2.5	应用 .....	381
	参考文献 .....	381
<b>12</b>	<b>Ni-Fe-Cr-Mo-Cu 铁镍基耐蚀合金</b> .....	<b>382</b>
12.1	铜对 Ni-Fe-Cr-Mo 合金耐蚀性的影响 .....	382
12.2	铬对 Ni-Fe-Mo-Cu 合金耐蚀性的影响 .....	384
12.3	常用 Ni-Fe-Cr-Mo-Cu 耐蚀合金的成分、组织、性能和应用 .....	385
12.3.1	00Cr25Ni35Mo3Cu4Ti(NS 1401) .....	385
12.3.2	00Cr27Ni31Mo4Cu(Sanicro-28, Microfer 3127LC) .....	394
12.3.3	0Cr21Ni42Mo3Cu2Ti(Incoloy 825, NS 1402) .....	401
12.3.4	0Cr20Ni35Mo3Cu3Nb(Carpenter 20cb-3, No. 8020, NS 1403) .....	415

---

12. 3. 5	00Cr27Ni31Mo7CuN( NiCrofer 3127hMo-alloy 31, No. 8031, NS 1404)	420
12. 3. 6	00Cr33Ni31Mo2CuN( NiCrifer 3033-alloy 33, R2033, NS 1405)	431
12. 3. 7	0Cr22Ni47Mo6. 5Cu2Nb2( Hastelloy G, Nicrofer 4520hMo, NS 3402)	438
12. 3. 8	00Cr22Ni48Mo7Cu2Nb( Hastelloy G-3, No. 6985, NS 1403)	453
12. 3. 9	00Cr30Ni43Mo5. 5W2. 5Cu2Nb( Hastelloy G-30, No. 6030, NS 3404)	457
12. 3. 10	00Cr20Ni50Mo9WCuNb( Hastelloy G-50, No. 6950)	467
12. 3. 11	00Cr21Ni44Mo3Cu2Ti2Al( Incoloy 925, No. 9925)	469
参考文献		479

# 1 概 述

纯镍是一种极其贵重的工业原材料，除直接作为金属材料应用外，它的最重要用途是以合金元素的角色应用于不锈钢工业和以其为基体构建系统的镍基和铁镍基耐蚀合金，后者是本书所阐述的内容。

镍基和铁镍基耐蚀合金具有优异的耐蚀性、较高的强度、优良的塑韧性和冶金产品的可生产性以及设备和部件的可加工制造性。这些特性的获得受益于纯镍具有优异的耐还原性介质腐蚀的能力和对提高和赋予合金耐蚀性的 Cr、Mo、W、Cu、Si 等元素的高度容纳能力，并可通过调解镍含量使合金从高温到低温不发生相变一直保持奥氏体的组织结构。因此，可通过合金化手段发展一系列有益于耐蚀性元素含量高的镍基和铁镍基奥氏体耐蚀合金。合金的耐蚀性取决于合金元素的种类、数量及相互匹配程度，为解决不锈钢不能胜任的腐蚀环境所引起的腐蚀问题，目前已开发成功 50 多个牌号的镍基和铁镍基耐蚀合金并成功应用于化学加工、湿法冶金、海洋工程、核燃料化工后处理、核能、油和天然气开采，污染控制的烟气脱硫装置等工业部门，成为这些工业发展和正常运行不可缺少的耐蚀结构材料。

## 1.1 定义和分类

### 1.1.1 定义

镍基耐蚀合金——以镍为基体( $w(\text{Ni}) \geq 50\%$ )并含有可赋予合金耐蚀特性的元素(Cr、Mo、Cu、W、Si、Al、Ti)且以耐蚀性为主要使用性能的一系列合金，称为镍基耐蚀合金。

铁镍基耐蚀合金——以  $w(\text{Ni} + \text{Fe}) \geq 50\%$  为基体，其中  $w(\text{Ni})$  处于 30% ~ 50% 之间并含有可赋予各种耐蚀特性的合金元素所构成的一系列合金，称为铁镍基耐蚀合金。

纯镍——未经合金化的纯镍，牌号之间的差别仅在于碳含量的不同。

### 1.1.2 镍基和铁镍基耐蚀合金的分类

镍基和铁镍基耐蚀合金的核心性能是它们的耐蚀性，决定这种性能的基础是合金的化学成分，为应对复杂多变的腐蚀环境，形成了牌号众多的耐蚀合金系列。为便于生产，使用和管理，国内外均对这类合金进行分类，其分类原则是以

所含合金元素的类型来划分的，而不纳入稳定化元素和沉淀硬化元素。

镍基耐蚀合金可划分成 5 个系列：Ni-Cu 耐蚀合金；Ni-Cr-Fe 耐蚀合金；Ni-Mo 耐蚀合金；Ni-Cr-Mo 耐蚀合金；Ni-Cr-Mo-Cu 耐蚀合金。

铁镍基耐蚀合金可划分成 4 个系列：Ni-Fe-Cr 耐蚀合金；Ni-Fe-Cr-Mo 耐蚀合金；Ni-Fe-Cr-Mo-Cu 耐蚀合金；Ni-Fe-Cr-Mo-Cu-N 耐蚀合金。

## 1.2 镍基和铁镍基耐蚀合金的近代发展<sup>[1~36]</sup>

自 1905 年在世界范围内第一个工业用 Ni-Cu 耐蚀合金蒙乃尔 (Monel 400) 合金问世以来，经一个多世纪的研究和发展，已形成了镍基和铁镍基两大类 9 个系列的耐蚀合金，其研究和发展的驱动力主要来自两个方面。其一是对早期合金的改进，早期的耐蚀合金，因受当时冶金生产条件的限制，对成分的控制尚达不到理想状态，加之对合金的耐蚀性的本质的了解尚处于初级阶段，在使用过程中曾出现过新的腐蚀问题，为解决新出现的腐蚀问题，在 20 世纪 60 年代曾对耐蚀合金的晶间腐蚀进行了从产生机理到解决途径的一系列的深入研究，从而产生了一系列耐晶间腐蚀的新合金；其二是市场对新的耐蚀材料的需求，如压水堆核动力装置蒸发器耐高温高压水应力腐蚀耐蚀合金；烟气脱硫装置对耐点蚀、缝隙腐蚀和应力腐蚀耐蚀材料的需求；海洋开发的耐海水点蚀和缝隙腐蚀结构材料；油、天然气开发的耐硫化物应力腐蚀材料以及新兴化学加工业对耐蚀结构材料的需求等。

为了满足工业发展对镍基和铁镍基耐蚀合金的需求，对表 1-1 所列早期的耐蚀合金进行了改进并基于合金元素对镍耐蚀性的改善效果，采用单一加入或复合加入的方式形成各具特色的一系列耐蚀合金，为满足特殊服役条件又派生出一些专用耐蚀合金。图 1-1 给出了镍基和铁镍基耐蚀合金的发展演变过程。表 1-2 和表 1-3 汇总了广泛应用的纯镍、镍基耐蚀合金、铁镍基耐蚀合金代表性牌号的代号、商品名称及主要化学成分。

表 1-1 早期生产和应用的耐蚀合金

年 份	国 别	合金名称	主要化学成分
1905	美 国	蒙乃尔合金	68Ni-28Cu-2.5Fe-1.1Mn-0.3C
1914	美 国	Illium 合金	68Ni-21Cr-5Mo-3Cu-0.05C
1920	德 国	Ni-Cr-Mo 合金	78Ni-15Cr-7Mo
1923	美 国	Hastelloy B	62Ni-28Mo-5Fe-0.12C
1930	美 国	Hastelloy C	60Ni-16Cr-16Mo-4W-6Fe-0.08C
1931	美 国	Inconel 600	75Ni-15Cr-8Fe-0.15C
1945	美 国	Carpenter 20	Fe-30Ni-20Cr-3Mo-3Cu
1949	美 国	Incoloy 800	Fe-32Ni-21Cr-0.05C
1950	美 国	Incoloy 825	Fe-42Ni-21Cr-3Mo-2Cu-0.9Ti-0.05C



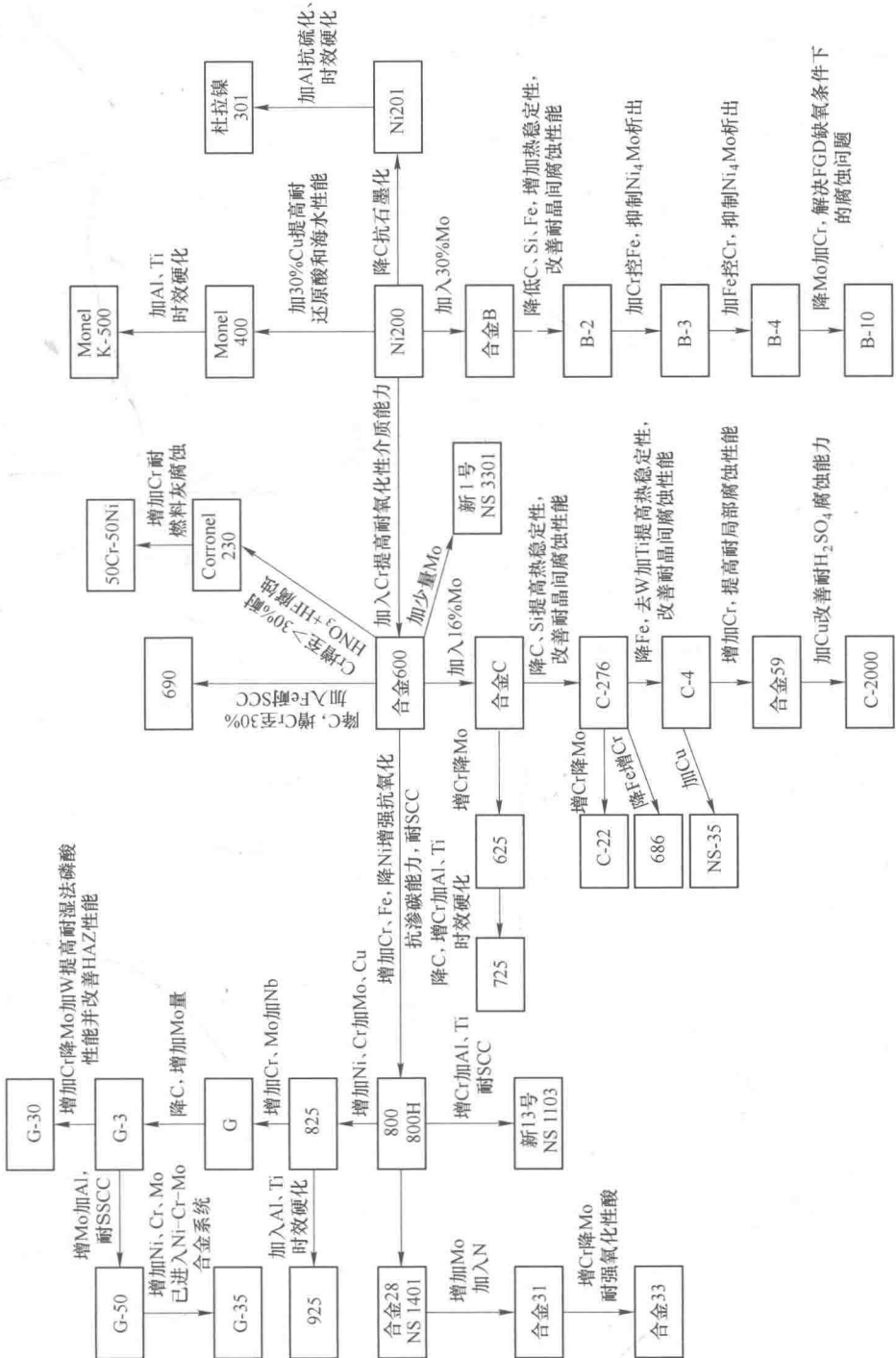


图 1-1 镍基和铁镍基耐合金发展脉络图