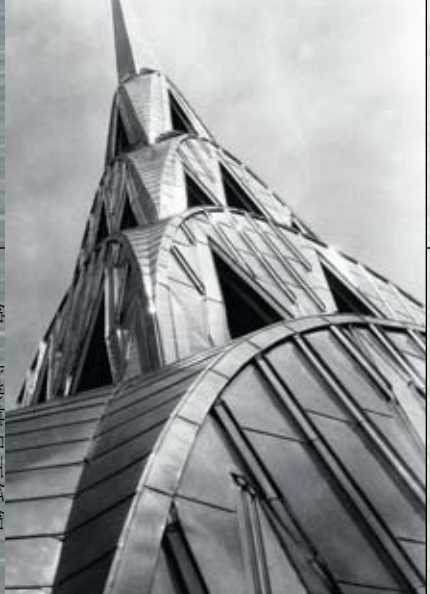


镍，成就精品不锈钢

国际镍协会、中国特钢协会不锈钢分会



# 镍，成就精品不锈钢



**Nickel**  
INSTITUTE  
*knowledge for a brighter future*

**SS** 中国特钢企业协会不锈钢分会  
STAINLESS STEEL COUNCIL OF CHINA SPECIAL STEEL ENTERPRISES ASSOCIATION



# 有了镍，您可以获得.....

- ... 各种类型**用途广泛的不锈钢**：奥氏体300系列和200系列不锈钢，双相不锈钢，沉淀硬化型不锈钢
- ... 在数万种用途中具有明确**可靠性**的不锈钢
- ... 结合了良好的**耐腐蚀性**和力学性能的不锈钢，它们具有从低温到高温的宽泛的力学性能，而且容易加工
- ... 可用于食品、饮料和医药工业**卫生**设备的不锈钢，它们可以用腐蚀性化学洗涤剂来清洗，并且能确保产品的纯净度
- ... 用于**高质量**日用消费品的18/8、18/10或18/12不锈钢
- ... 能满足极高的**成形性**要求的不锈钢
- ... 各种厚度规格均有非常好的**焊接性**的不锈钢
- ... 各种产品形式和尺寸规格**均可买到**的不锈钢
- ... 具有十分丰富的表面和颜色、**令人印象深刻的**不锈钢
- ... 电子行业和医学植入物所必要的**低导磁率**的不锈钢
- ... 具有**恒久的价值**并且在使用寿命结束后，其废料仍具有**高内在价值**的不锈钢。

通过本文，您将了解到对于这些特性，镍做出了怎样的贡献

... 具有重要工程特性和用途的其它各类镍合金

- 耐极端腐蚀和满足高温要求的镍合金
- 防止生物附着的铜镍合金
- 有形状记忆功能的镍钛合金
- 低热膨胀的铁镍合金
- 镀镍
- 镍催化剂

**上述所有特性意味着：有了镍，您可以获得用途十分多样化的材料。**

本文所提供的材料仅用于为读者提供一般的知识信息，在未取得专业建议之前，不得用于某一具体应用。  
 镍协会及其会员、职员和顾问不能保证本文对于任何一般或特定应用的适用性，不承担与本文信息有关的任何义务和责任。  
 Photography from top to bottom: Petronas Towers, bezogen durch B-M, Cleanup Corporation, Johnsen Ultravac, Ron Arad Associates, Carl Pott



“纽约克莱斯勒大厦证明：采用含镍不锈钢，可以获得长寿命”

## 目录

引言：	含镍不锈钢概述	5
第1章：	物理和力学性能	11
第2章：	耐腐蚀性	21
第3章：	高温性能	29
第4章：	成形	35
第5章：	连接	39
第6章：	可持续的镍	44
附录：	信息来源	49
	合金成份	50

“镍是由一个具有高度责任感的行业生产的”

## 可持续性 镍的其它优点

镍的优点不仅仅在于它给各种材料和工艺带来的特性。

您之所以使用或考虑使用镍或含镍材料，除了技术上的原因，还有环境和社会经济因素。

镍是一种投资，它使许多新产品和新工艺得以实现，而这些产品和工艺对于**提高环境效益**至关重要。镍还使许多其它现有的产品和工艺**更加节能、坚固和耐用**。

镍的价值确保了它被**高效使用，高比例回收再生**。

含镍材料的特性完全支持**生态效益**。

镍的生产、使用和回收再生是一种支持社会和政府机构的**有附加值的经济行为**。

镍由对工人、社会、投资者和环境**高度负责**的企业生产。

镍为可持续发展做出了重要贡献，并且，从原镍工业自身开始的整个镍价值链，在镍的整个生命周期中，都以负责任的态度管理着镍。



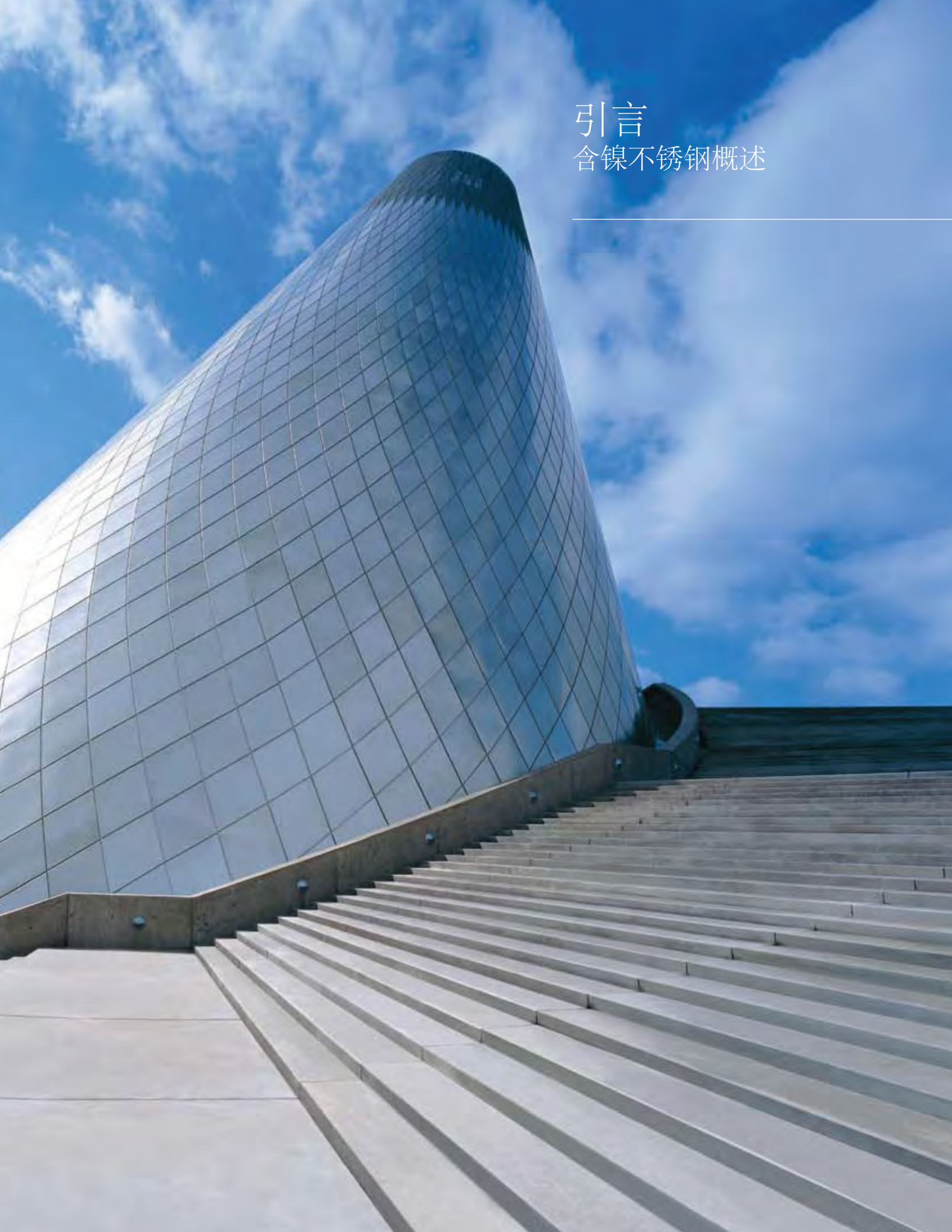
位于北京的美国大使馆

照片由国际镍协会提供

# 引言

## 含镍不锈钢概述

---



# 引言

## 含镍不锈钢概述

不锈钢并非仅一种材料：它有五大类，每一类还包括若干牌号。镍是一种重要的合金添加元素，现今生产的不锈钢中三分之二都添加了镍。

铬是使不锈钢能够“不锈”的关键合金元素。钢中需要添加10.5%以上的铬来形成保护性氧化膜，使不锈钢具有耐腐蚀性能以及银色、明亮的外观。一般来说，加入的铬越多，耐腐蚀性越强。这个规律是在一个世纪以前发现的，而早期的一些不锈钢中已经含有镍。含镍的不锈钢从那时起便开始使用。尽管镍可能被看做是一种比较昂贵的合金添加元素，但现在每年生产出的不锈钢中约有三分之二（按重量计算）都含有镍。镍的作用是什么？为什么它得到如此广泛的应用？

镍的主要功能是在室温及低于室温的条件下，使钢的奥氏体结构稳定化。这种奥氏体结构（即面心立方晶体）具有特别高的韧性和塑性。高的韧性、塑性和其它性能决定了这些不锈钢的多功能性。铝、铜和镍本身就是奥氏体结构金属的好例子。

在室温下能稳定奥氏体结构的最低镍含量约为8%，因此，使用最广泛的不锈钢即304不锈钢中镍含量为8%。304不锈钢含有18%的铬和8%的镍（通常被称为18/8）。这一牌号是20世纪初期开发出来的，是不锈钢发展历史上最早的牌号之一。它被应用于化工厂，并用于包覆1929年建成的纽约市标志性建筑克莱斯勒大厦的外立面。

20世纪30年代锰首次被用作不锈钢添加元素。20世纪50年代，当镍比较稀缺时，200系列低镍奥氏体不锈钢得到进一步开发。氮是一种强奥氏体形成元素。由于近年来熔炼技术的改进，不锈钢中可以有控制地添加更多的氮。这似乎意味着镍可以完全被替代而不锈钢的结构仍为奥氏体。然而，事情远非如此简单。如今所有商品化的高锰奥氏体不锈钢仍然含有一些特意添加进去的镍。许多牌号的铬含量也有所降低，以便保持奥氏体结构。正如我们下面所要看到的，与标准300系列镍不锈钢相比，铬含量减少的副作用是降低了这些合金的耐腐蚀能力。

当奥氏体形成元素的总含量降低时，不锈钢的结构就从100%的奥氏体变为了奥氏体加铁素体（即体心立方晶体）的混合结构。这便是双相不锈钢。镍继续起到稳定奥氏体相结构的作用。所有重要的商品化双相不锈钢，即使是“节约型双相钢”，也含有特意添加的1%或更多的镍。大多数双相不锈钢比标准奥氏体不锈钢铬含量高：平均铬含量越高，最低的镍含量也必须越高。这与上面提到的200系列不锈钢的情况相似。

\* 成分和大致相当的牌号在附录中列出（第50页）



304不锈钢广泛用于牛奶包装厂

照片由Tetra Pak提供

“镍的主要功能  
是使奥氏体结构  
稳定化”

## 引言

含镍不锈钢概述

双相不锈钢的双相结构使得它天然地比一般奥氏体不锈钢的强度更高。它们稍高的铬含量也使它们的耐腐蚀能力略高一筹。考虑到其它特性，双相钢已在一些特定用途中获得有价值的应用。

进一步的降低镍含量，甚至降到零，得到的不锈钢将完全不含有奥氏体结构。它们具有完全的铁素体（即体心立方晶体）结构。在常温下，铁和低碳钢也是铁素体结构。

并非所有的铁素体不锈钢都不含镍。众所周知，镍可以降低韧-脆转变温度（DBTT，即低于该温度后合金会变脆）。韧-脆转变温度也受其它因素的影响，如晶粒大小和其它合金添加成分。然而，一些高合金化的超级铁素体不锈钢含有特意添加的镍来改善韧-脆转变温度，特别是焊缝的韧-脆转变温度。

与奥氏体不锈钢不同，马氏体不锈钢可以通过热处理来硬化。有些马氏体不锈钢的确含有镍，不仅提高了韧性，而且使钢含有较高的铬含量，从而提高了耐腐蚀能力。硬化热处理就是将材料加热到一定温度，然后淬火，随后进行回火处理。

最后，沉淀硬化（PH）不锈钢也可以通过热处理获得高强度。沉淀硬化不锈钢的种类很多，但全都含有镍。与马氏体不锈钢不同的是，它的热处理不包括淬火。

**成形性** 奥氏体结构的特性是使不锈钢具有良好的拉伸塑性和良好的成形性，如成形极限图对比所显示。常用的18%铬8%镍不锈钢表现出极好的拉伸成形特性，但比某些铁素体不锈钢的极限深冲比稍低。稍高一点的镍含量就可以进一步提高奥氏体的稳定性，减少加工硬化趋向，从而更加适合深冲成形。与低镍、高锰不锈钢不同的是，这些不锈钢不容易发生延迟冷裂。300系列奥氏体不锈钢良好的成形性使其广泛用于对成形性要求较高的产品如厨房的水池、锅盆等。

**焊接性** 许多设备部件必须通过焊接来加工。一般来说，含镍奥氏体不锈钢比其它不锈钢的焊接性更好，304和316不锈钢是世界上被加工得最多的不锈钢。它们不容易发生由于高温下晶粒长大导致的脆化，并且焊缝具有良好的弯曲和抗冲击性能。而且厚度在2毫米以上的厚壁材料也比较易于焊接。

在合金含量相同的情况下，双相不锈钢比铁素体不锈钢的焊接容易得多。但即使是标准的和更高合金化的超级双相不锈钢也需要比相应的奥氏体不锈钢更加注意焊接工艺的细节。200系列与300系列不锈钢的焊接特性相似。

**韧性** 韧性——即材料吸收能量而不发生断裂的能力，在许多工程应用中都是必不可少的。大多数不锈钢在室温下具有良好的韧性，但是，随着温度的降低，铁素体结构的脆性不断增加。因此，铁素体不锈钢不适合于在低温环境下使用。相反，普通的奥氏体不锈钢即使在液氮的温度下也能保持良好的韧性。因此，像304这样的不锈钢广泛应用于低温环境的应用。



不锈钢的创新应用

照片提供

上图：西雅图摇滚音乐博物馆

下图：Eero Hyrkäs设计的高档酒具

“304和316不锈钢是世界上加工得最多的不锈钢”

# 引言

含镍不锈钢概述



照片由国际镍协会提供/芝加哥凯悦酒店

**高温性能** 镍的添加使奥氏体不锈钢的高温强度远远优于其它不锈钢 (特别是抗蠕变能力)。暴露于中温和高温条件下, 含镍奥氏体不锈钢也不太容易形成有害相。镍还能提高氧化膜的稳定性, 减少其在热循环过程中的剥落现象。因此, 奥氏体不锈钢常用于高温环境和需要防火的环境中。

值得注意的是, 奥氏体不锈钢与镍基超合金在成份上有连续性, 镍基超合金往往用于最苛刻的高温应用如燃气轮机。

**耐腐蚀性能** 如前所述, 不锈钢的耐腐蚀性主要是由于表面形成了富含铬的氧化膜。但是, 这层氧化膜容易发生损坏, 特别是在有氯化物存在的环境中, 这种损坏可以导致局部腐蚀如点蚀和缝隙腐蚀的发生。钼和氮都能提高氯化物环境下抗点蚀发生的能力。镍对点蚀的起始发生没有影响, 但可以降低点蚀和缝隙腐蚀的扩展速度 (见图9)。这对于决定腐蚀的严重程度相当重要。

镍还影响不锈钢对另一种形式局部腐蚀的耐蚀能力, 即氯化物应力腐蚀开裂。但对这种腐蚀, 镍含量约为8%的时候, 耐蚀能力最低。镍含量高于或低于8%时, 耐应力腐蚀开裂的能力反而会显著提高。

总的来说, 增加不锈钢包括铁素体不锈钢中的镍含量, 就能提高其在还原性酸如硫酸中的耐腐蚀能力。其它元素如钼, 尤其是铜, 在这方面也有很强的作用。但是, 在铁素体不锈钢中以这种方式使用镍时, 有一些潜在的弊端。这些弊端与耐应力腐蚀开裂性能和金属间相的形成有关。

**光泽与表面** 所有的不锈钢第一眼看上去都很相似。但是, 将进行了同样表面抛光处理的不锈钢放在一起比较, 就会发现色泽上的差异。外表和感观质量的好坏总是见仁见智的。但200系列不锈钢通常色泽较暗, 铁素体不锈钢比镍奥氏体不锈钢看上去更冷。在某些建筑应用中, 可能希望颜色更灰暗一些。但通常消费者喜欢比较光亮、发白的金属, 300系列不锈钢广受欢迎就证明了这一点。200和300系列不锈钢由于其固有的加工硬化特性, 耐划伤能力也更强。

所有不锈钢均可获得各种各样的表面, 从轧制表面到机械抛光 (从粗糙到镜面抛光)、刷光、喷丸、压花表面 (以及其它许多表面)。这表明了含镍不锈钢的多样化, 它可以做出各种各样的美观外表。但需要注意的是, 比较粗糙的表面通常耐腐蚀能力较低, 特别是用于户外建筑时。如果是用于海洋环境和除冰盐环境, 则需要使用耐腐蚀能力更强的材料, 如316L不锈钢。



## 引言

含镍不锈钢概述

**可持续发展** 回忆一下布伦特兰报告中关于可持续发展的定义——“可持续发展是能满足现在的需求，但不会破坏后代满足其自身需求能力的发展”。很明显，从总体上来讲不锈钢，特别是含镍的不锈钢，在环境保护、经济增长、社会公平等方面扮演着重要的角色。举例如下。

为了评估一种材料对可持续发展的贡献，考察这种材料从提炼到使用寿命结束后回收或废弃的整个寿命周期是非常重要的。

大多数含镍材料在产品使用寿命结束后，都是完全可再生的。它们的高价值对其回收再生也有促进作用。回收再生通过减少对原料的需求和对能源的消耗，减少了对环境的影响。例如，如今所使用的废不锈钢数量减少了生产不锈钢所需的能源，比100%使用纯原料减少了33%[耶鲁大学<sup>1</sup>]。这种能耗的减少几乎有一半来自于寿命已经结束的废钢(采用IISF的数据<sup>2</sup>)。只是因为不锈钢产品使用寿命长，并且不锈钢产品的应用显著增长造成废钢的短缺，能耗才没有进一步降低。

含镍不锈钢如果得到正确的使用，其主要的贡献在于能保持和改善人们的生活质量，使企业和其它机构能提供可持续的解决方案。这些可持续的解决方案取决于镍所提供的品质和服务：腐蚀防护、耐用性、清洁性、耐高温性、可再生性。



### 使用案例记录：不朽的力量

最近在华盛顿落成的空军纪念碑是世界上最大的不锈钢结构应用之一，其它的还有爱尔兰都柏林尖塔和美洲最大的纪念性建筑大拱门。

新纪念碑由3个64米高的不锈钢尖塔组成，向数百万名多年为美国空军做出贡献的人们和其前辈们致敬，包括在战斗中牺牲的54000人。

每座尖塔有一个19毫米厚的低硫（最多0.005%）S31600不锈钢包覆层，它含有12%的镍，覆盖在钢筋混凝土芯体上。

参与设计的工程师选择S31600来防止腐蚀，并使结构外观在不需人工清理的情况下可保持几十年。尽管华盛顿

并未靠近海岸，也无严重污染，但该纪念碑周围有3条使用除冰盐的高速公路，对稍次一点的材料就会构成威胁。

S31600还能使结构具有完整性，帮助弯曲的尖塔抵挡大风环境下可能产生的摇摆。

照片：凯瑟琳·赫斯卡，国际镍协会 华盛顿美国空军纪念碑

“大多数含镍材料都是完全可再生的”

<sup>1</sup> Johnson, J. 等，不锈钢再生的能源优势 《能源政策》 36卷第一期 2008年1月 P181ff

<sup>2</sup> www.worldstainless.org

## 引言

含镍不锈钢概述

“它们易于获得、被充分了解、用途多样、易于使用……最实用、风险最低的解决方案”

有关不锈钢耐用性的最明显的例子是在建筑上。英国伦敦圣保罗大教堂和索威饭店的天篷 (分别建于1925年和1929年) 的修缮, 纽约克莱斯勒大厦 (1930年), 墨西哥尤卡坦州普罗格雷索码头 (约1940), 德国杜塞尔多夫蒂森大厦 (1960) 以及美国圣路易斯大拱门 (1965) 都证明: 若采用含镍不锈钢, 可以期待很长的使用寿命。

**易于生产** 这对最终用户来说无法立即感知。但是, 生产普通奥氏体不锈钢的长期经验、它们的广泛使用、它们的多用途以及它们的生产规模都意味着它们已经成为高质量的商品化钢种。这些不锈钢所有产品形式的产品都可以在世界各地比较经济地买到。

**使用中的不锈钢** 下面所展示的图片为普通含镍奥氏体不锈钢的应用。普通含镍奥氏体不锈钢在各方面都有上佳表现。它们易于获得、被充分了解、用途多样、易于使用。它们还表现出良好的性能, 并可以广泛回收再生。这一切都意味着它们能提供最实用、风险最低的解决方案。

300系列不锈钢由于已经经过长期使用, 它们常常获准用于与食品或饮用水接触的环境中。此外所需要的所有产品形式通常都很容易获得。



300系列不锈钢广泛用于水及污水处理用途。

照片由Robert Lowell提供

# 第1章

## 物理和力学性能

---



# 第1章

## 物理和力学性能

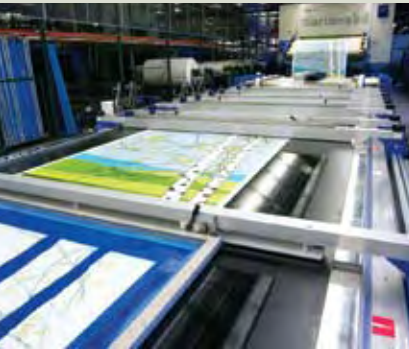
**物理性能** 不锈钢的物理性能从广义上可以按其所属的类型划分, 如表1所示。

“... 较高的机械强度... 可很好地补偿较低的导热率”

类型	牌号	密度		导热率 100 °C		电阻率	比热		热膨胀 0-100 °C		导磁率
		g/cm³	lb/in³	W/m.K	Btu/ft.hr. °F		J/kg.K	Btu/lb. °F	10⁻⁶/°C	10⁻⁶/°F	
铁素体不锈钢	430	7.8	0.28	26.1	15.1	600	460	0.11	10.4	5.8	600-1000
马氏体不锈钢	410	7.8	0.28	24.9	14.4	570	460	0.11	9.9	5.5	700-1000
奥氏体不锈钢	304	8.0	0.29	16.2	9.4	720	500	0.12	17.2	9.6	1.02
奥氏体不锈钢 (高锰)	201	7.8	0.28	16.2	9.4	690	500	0.12	15.7	8.7	1.02
超级奥氏体不锈钢	S31254 SMO	8.0	0.29	14	8.1	850	500	0.12	16.5	9.2	c.1
双相不锈钢	2205	7.8	0.28	16	9.3	800	500	0.12	13.0	7.2	>>1
沉淀硬化不锈钢	17-4PH	7.8	0.28	18.3	10.6	800	460	0.11	10.8	6.0	95

参考: ASM 金属手册

各类不锈钢之间密度和比热差别极小。但是, 导热率和热膨胀的差异显著, 这在实际应用中非常重要 (见表2)。奥氏体不锈钢较低的导热率对于降低建筑中火灾的蔓延速度是有利的。在需要高热传输的时候, 低导热率可能就是缺点了, 这就是为什么不锈钢锅常常有一个铜或铝的基座。但是, 通常表面效应对整个热传输造成的影响比通过管壁的传导大得多, 见表中换热器的例子。如果机械强度高, 则可以使用薄壁的部件, 这样可很好地补偿较低的热传导率。



照片由国际镍协会提供

材料	膜系数				金属的导热率		“U”值	
	h <sub>0</sub>		h <sub>1</sub>		W/m·K	Btu·in/hr/ft²/°F	W/m²·K	Btu/hr/ft²/°F
铜	1704	300	5678	1000	387	2680	1300	229
铝	1704	300	5678	1000	226	1570	1295	228
碳钢	1704	300	5678	1000	66	460	1266	223
不锈钢	1704	300	5678	1000	15	105	1124	198

h<sub>0</sub> = 管外流体膜传热系数  
h<sub>1</sub> = 管内流体膜传热系数  
不锈钢为300系列

$$“U” = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \frac{\text{金属壁厚}}{\text{导热率}} + \frac{1}{h_1}}$$

参考: 国际镍协会出版物 9014

奥氏体不锈钢的热膨胀系数比其它牌号的不锈钢高60-70%。不过,对于预计存在热循环的情况如屋顶、低温设备、打算在高温下运行的设备,设计阶段就可以考虑到这一点。焊接中的变形是一个专门的问题,将在加工章节中详细讨论。通常的做法是最大程度地减少热输入。

值得注意的是,奥氏体不锈钢的热膨胀系数仍然比其它常用金属如铝和铜的热膨胀系数要小。



在日本,不锈钢广泛用于建筑物的给排水系统

图片由日本不锈钢协会提供

奥氏体不锈钢与其它牌号不同,在室温下通常是无铁磁性的。这一性能使奥氏体不锈钢可以用于不得使用铁磁性材料的场合,比如磁共振成像扫描仪的强磁场附近,或海军舰艇消磁码头的混凝土钢筋。某些奥氏体牌号由于冷加工形成了马氏体而产生少量的铁磁性,见图1。增加镍含量可减少这种效应,所以尽管这种效应在301不锈钢中十分显著,但310不锈钢经过大量冷加工后仍然保持无磁性。

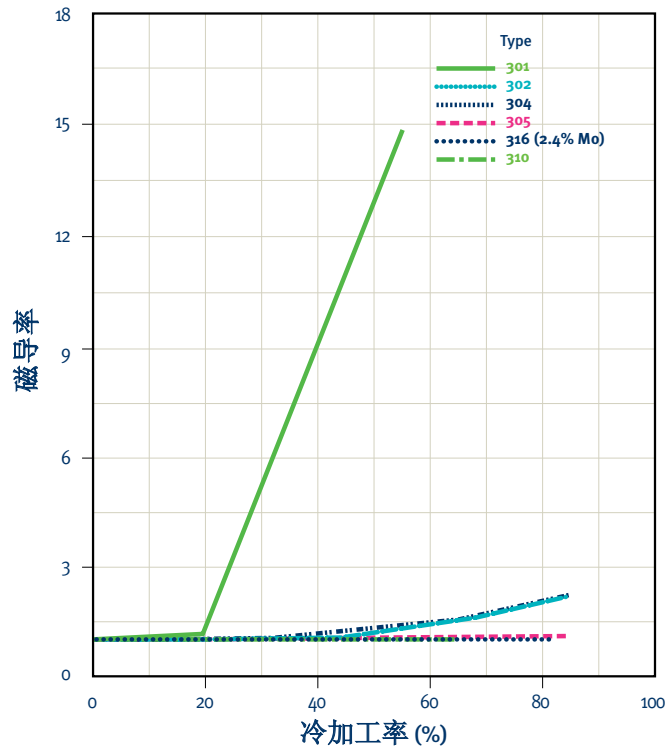
“奥氏体不锈钢  
室温下通常是  
无磁性的…用  
以磁共振成像  
扫描仪”

# 第1章

物理和力学性能

“奥氏体不锈钢缺乏磁性，再生时很容易将它们分拣出来”

图 1:  
冷加工对铬镍不锈钢磁导率的影响



奥氏体不锈钢是世界上再生性能最好的材料之一

照片由Tim Pelling 为国际镍协会提供

当分拣废钢用于再生时，奥氏体不锈钢由于缺乏铁磁性，很容易与其它不锈钢和碳钢分开。

图2  
四类不同的不锈钢的应力应变曲线

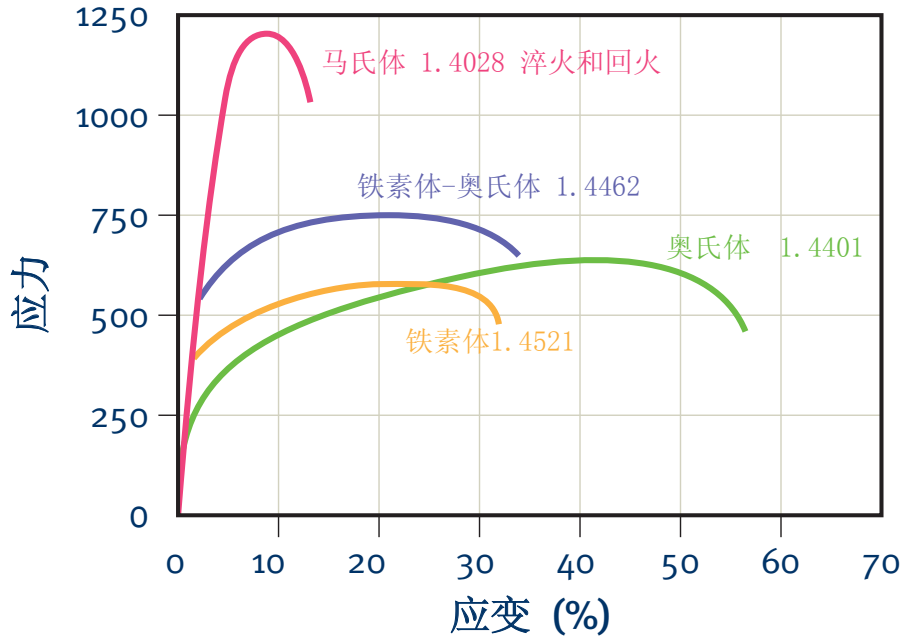


图2对拉伸性能进行了比较, 显示出不同牌号之间有显著差异。所有不锈钢的室温弹性模量均为约200GPa, 与其它钢相似。但是, 室温力学性能的相似性就到此为止。如图2所示, 奥氏体不锈钢的加工硬化率高, 并且在退火状态下有很高的塑性。这应归功于其面心立方的晶体结构。因此, 尽管屈服强度与铁素体不锈钢相似, 但它的抗拉强度和塑性要比铁素体牌号高得多。由此带来两个结果: 第一, 奥氏体不锈钢可以经冷加工来获得很高的保证强度和抗拉强度, 同时还具有良好的塑性和韧性。第二, 其变形需要较大的能量, 因此, 奥氏体不锈钢可以吸收能量, 可用作汽车的一部分来减轻车辆碰撞的影响。即使在变形率高的情况下, 也可以保持韧性 (这又是一个防冲撞的重要因素)。

\*不锈钢不表现出一个明确的屈服点, 所以屈服应力通常指0.2%弹性极限应力。



照片由 Cleanup Corporation 提供

# 第1章

物理和力学性能

“奥氏体不锈钢可以通过冷加工来强化，使强度达到很高的水平”

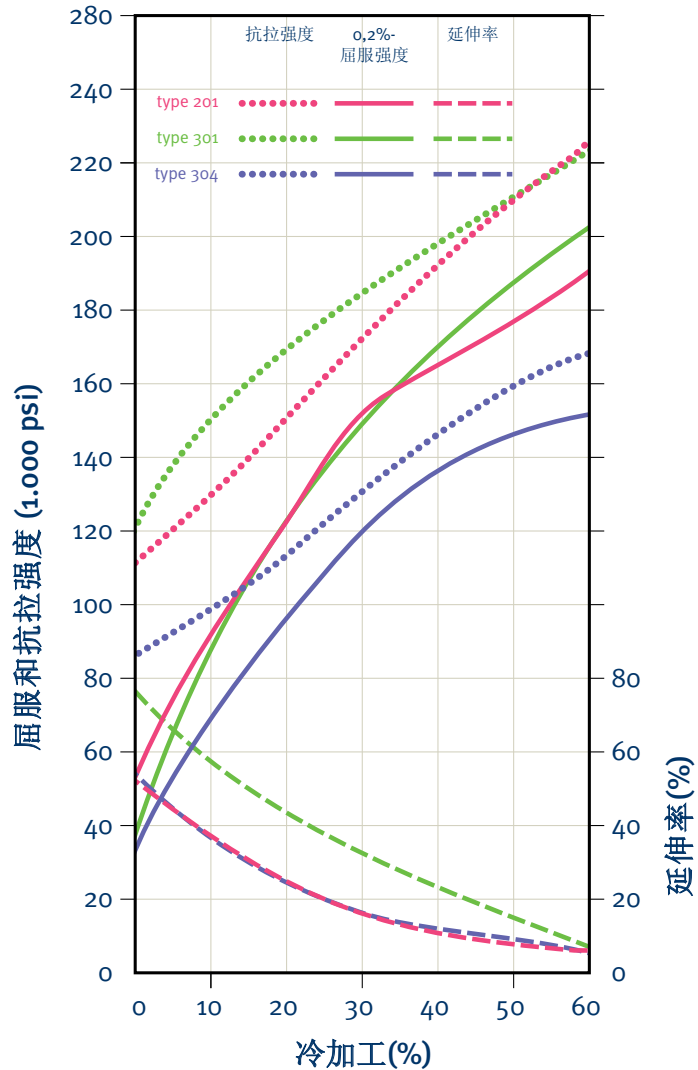
奥氏体不锈钢不能通过热处理来强化,但是可以通过冷加工来强化,达到很高的强度水平。

EN10088-2: 2005列出了强化后的保证强度从350到1300Mpa, 抗拉强度从700到1500Mpa。ASTM A666列出了200和300系列不锈钢在不同回火处理后的强度特性。对于某一特定的回火处理(强度)(比如1/4硬度),不同牌号性能略有不同。

锰在增强冷加工的强化作用方面十分有效。例如, 201不锈钢。如图3所示, 对于类似的奥氏体不锈钢, 镍含量越低, 冷加工的效应越显著。

图3

冷加工对201、301和304不锈钢力学性能的影响  
阿勒格尼路德卢姆钢铁集团





然而, 其它合金元素也有强化作用, 所以较高合金化的不锈钢其拉伸性能显著提高, 如表3所示

表3  
ASTM标准列出的高性能奥氏体不锈钢的最低力学性能

名称	UNS 编号	ASTM- Specification	屈服强度 (最低)		抗拉强度 (最低)		延伸率 (最低)
			MPa	ksi	MPa	ksi	
201	S20100	A240	260	38	515	75	40
201LN	S20153	A240	310	45	655	95	45
304	S30400	A240	205	30	515	75	40
304L	S30403	A240	170	25	485	70	40
321	S32100	A240	205	30	515	75	40
Type 316L	S31603	A240	170	25	485	70	40
316Ti	S31635	A240	205	30	515	75	40
Type 317L	S31703	A240	205	30	515	75	40
Alloy 20	N08020	A240	240	35	550	80	30
317LMN	S31726	A240	240	35	550	80	40
904L	N08904	A240	220	31	490	71	35
Alloy 28	N08028	B709	214	31	500	73	40
6% Mo	S31254	A240	310	45	655	95	35
4565S	S34565	A240	415	60	795	115	35
7% Mo	S32654	A240	430	62	750	109	40

室温下双相不锈钢比普通的奥氏体不锈钢强度高。这与其双相结构有关, 如表4所示。

表4  
ASTM薄板及中厚板标准列出的双相不锈钢最低力学性能

名称	UNS 编号	屈服强度 (最低)		抗拉强度 (最低)		延伸率 (最低)
		MPa	ksi	MPa	ksi	
2304	S32304	400	58	600	87	25
2205	S32205	450	65	655	95	25
2101	S32101	450	65	650	94	30
2507	S32750	550	80	795	116	15

这是铁素体相固有的高强度与奥氏体相高加工硬化率两者相结合的结果。双相不锈钢最近的发展趋势是向节约型牌号和更高合金化的牌号发展。

沉淀硬化不锈钢可以获得更高的强度。可获得高达1793Mpa的抗拉强度, 超过了马氏体不锈钢的强度, 同时还可保持良好的塑性和耐腐蚀性, 且仅需在620℃的中等温度下进行热处理。



照片由istock提供

# 第1章

物理和力学性能



304不锈钢啤酒罐

照片由Tim Pelling 为国际镍协会提供

“双相不锈钢天生具有较高的强度”

固溶体中的镍(和其它元素)可提高铁素体不锈钢的弹性极限应力,但是由于铁素体结构较低的加工硬化率,其抗拉强度比类似的奥氏体不锈钢低。

**低温力学性能** 在低温下奥氏体不锈钢的保证强度和抗拉强度也增加。

图4  
304奥氏体不锈钢的低温强度

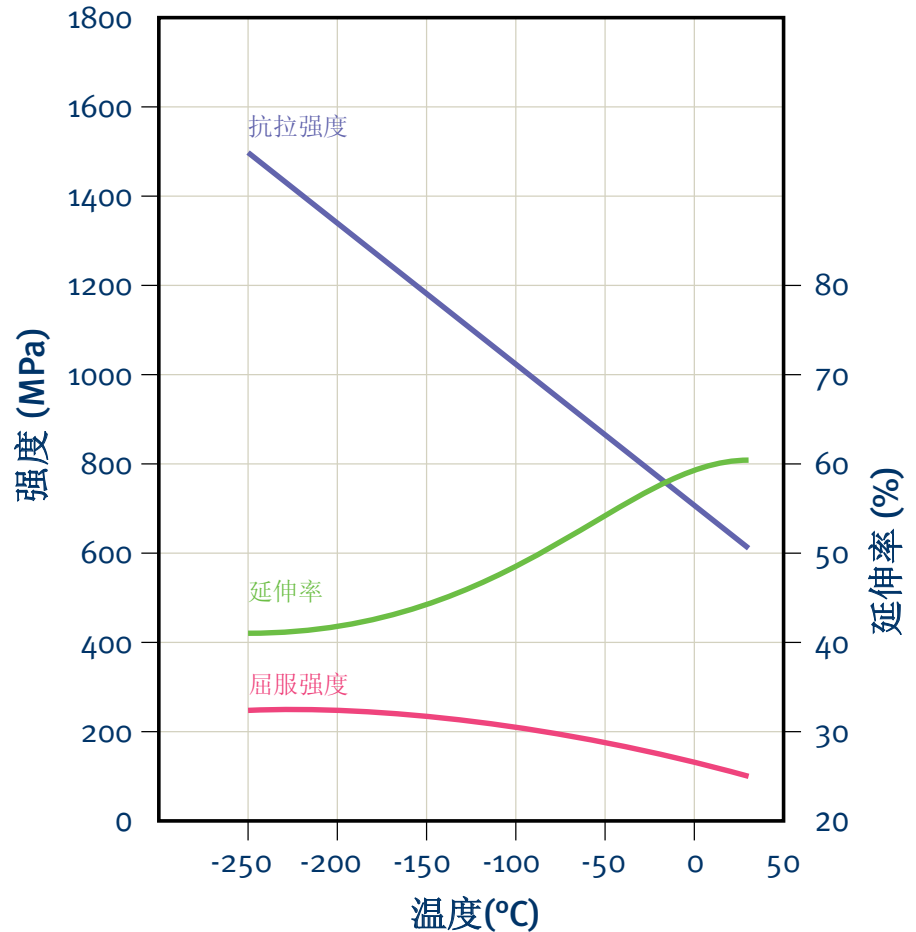
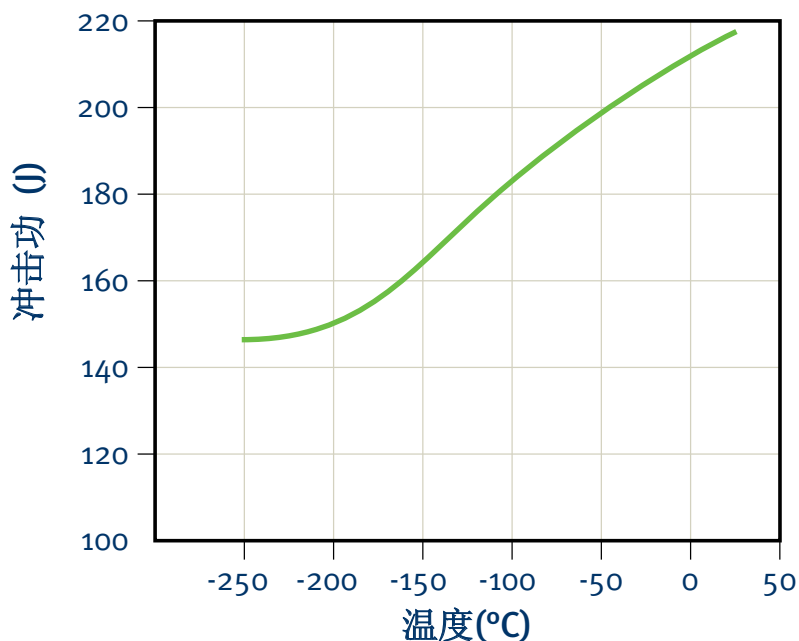


图4和图5还表明(与其它类型的不锈钢相比)奥氏体不锈钢在低温下仍然保持良好的塑性和韧性。冷加工的材料也是这样。因此,奥氏体不锈钢适合于低温的应用,甚至可以在液氮的温度下使用。

双相钢的有效韧性保持至约零下100°C，这比铁素体不锈钢的温度低。

图5  
304不锈钢的低温冲击性能



奥氏体不锈钢中较高的氮含量能在低温下使奥氏体结构保持稳定，并使这些钢在退火状态下保持低导磁率，见表5。

表5  
退火不锈钢的导磁率随温度的变化

退火不锈钢的导磁率	$\mu$ 最大 at 20° C <sup>(1)</sup>	$\mu$ 最大 at -196° C	$\mu$ 最大 at -269° C
304 不锈钢	1.005 - 1.03	2.02 - 2.03	-
304L 不锈钢	1.08 - 1.3	1.2 - 1.6	1.1 - 1.5
316 不锈钢	1.02 - 1.05	-	-
316L 不锈钢	1.02 - 1.1	1.03 - 1.09	1.03 - 1.0
321 不锈钢	1.03 - 2.0	-	2.75
347 不锈钢	1.005 - 1.03	-	1.40
(316N) 不锈钢	1.0	1.0 - 1.01	1.03 - 1.06

参考: 国际镍协会出版物 4368

“奥氏体不锈钢在冷冻温度下仍保持塑性”



照片由巴威公司提供

# 第1章

物理和力学性能

“耐火和防爆性能是有益的”



“云门” Anish Kapoor

照片提供者: Outokumpu and James Steinkamp, Steinkamp Photography



**使用案例纪录:** 更换水轮机叶片使发电能力增加400兆瓦

自1992年以来, 加拿大中部的安大略发电公司 (OPG) (原安大略水电公司)一直通过采用含镍4%的J91540不锈钢铸造的设计更佳、重量更轻、强度更高的叶片来取代以前的水轮机叶片, 增加其水轮机或机组的水电发电量。

与S30400不锈钢相比, 该合金有良好的耐腐性能和耐气蚀性能。

合金的焊接性对于现场进行的气蚀修复非常重要。合金的高强度也非常重要, 因为提高了叶片的效率, 也增加了叶片压力面 (上方) 和吸力面 (下方) 的压力差。

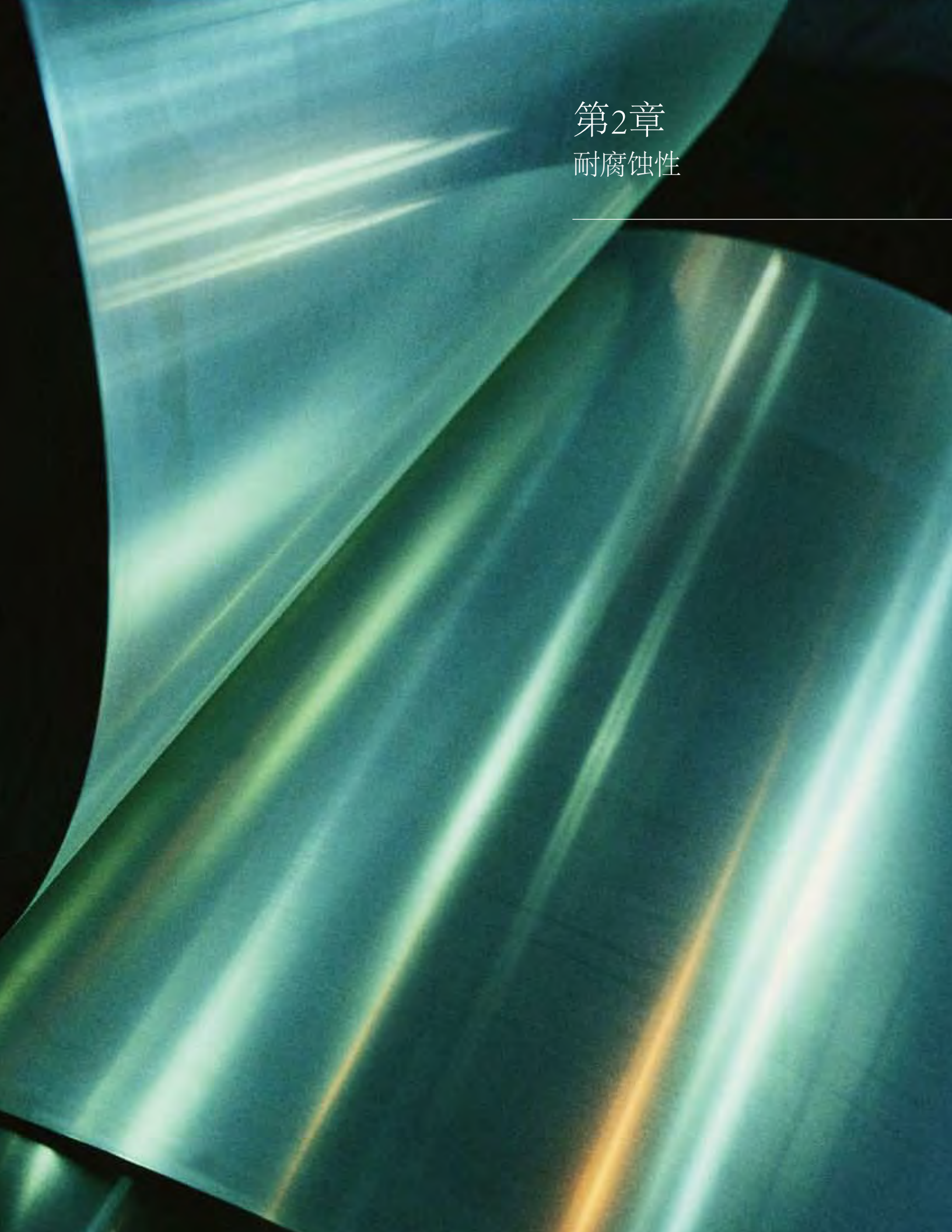
新的叶片使每台机组的发电能力由56兆瓦提高到64~65.4兆瓦。

照片: 安大略发电公司

**高温力学性能** 这里要考虑的两个特别重要的因素是热强度和热稳定性, 将在第5章详细讨论。

**结构性能** 奥氏体不锈钢和双相不锈钢均用于许多要求耐腐蚀性或耐火/防爆性能的结构应用中。钢结构协会 ([www.steel-sci.org](http://www.steel-sci.org))编制出版了《结构不锈钢设计手册》, 该出版物也可从欧洲不锈钢发展协会 (EuroInox) 网站 ([www.euroinox.org](http://www.euroinox.org)) 获得。另一个参考资料是ANSI/ASCE-8-90 - 《冷成型不锈钢结构件设计规范》。

**铸造不锈钢** 本资料主要叙述锻轧不锈钢。大多数锻轧奥氏体和双相不锈钢都有相应的铸造牌号且有不同的命名方法。铸造牌号常常在成分上稍作改进以改善流动性并防止热裂纹, 而热裂纹在某些介质中可能对耐蚀性有影响。残余金属元素的含量也有很大的不同, 晶粒尺寸也可能不同于锻轧牌号, 导致力学性能也稍有不同。详见国际镍协会出版物11022。



第2章  
耐腐蚀性

---

# 第2章

## 耐腐蚀性

“不锈钢经常由于它们较高的耐腐蚀性而被采用”

材料的腐蚀是一个复杂的过程。一种酸的腐蚀性由于温度、酸浓度、氧含量、杂质（可以起抑制或加速作用）、流速等条件的不同可以有很大的不同。另外，设备的设计、焊接、加工、热处理、表面状况、化学洗涤剂都会影响设备的使用寿命。

不锈钢由于其耐腐蚀性强，比碳钢或低合金钢更常用。但是，如同许多规律一样，也有例外发生。例如，有时候某些不锈钢发生腐蚀的速度比碳钢更快。同样，尽管在多数情况下316L比304L更耐腐蚀，但是也有后者比前者更耐腐蚀的时候，如在硝酸或铬酸等高氧化性酸存在时。

镍对于不锈钢耐腐蚀性的作用通常相当微妙。它不仅作为一种重要的合金元素对耐腐蚀性产生影响，而且还影响钝化氧化膜和显微结构（如减少有害相的形成）。选择正确的合金意味着找到可以在所需的时间内持续使用且不会对其所接触的产品造成污染的合金。

**全面腐蚀** 表6摘自施旺德 (Schwind) 等人的数据 (来自SSW论文)。其中，根据MTI方法对304、201和430不锈钢进行了测试。对于给定的酸浓度，给出了腐蚀率小于0.13毫米/年 (5密尔/年)时的最高温度。数值越高，合金的耐腐蚀能力越强。

表6 在不同溶液中304、201、430不锈钢腐蚀率小于0.13毫米/年时最高温度			
试验溶液	临界温度 (° C)		
	304	201	430
96% 硫酸	50	20	40
85% 磷酸	80	70	<20
10% 硝酸	>bp.	>bp.	>bp.
65% 硝酸	100	80	70
80% 乙酸	100	100	<20
50% 氢氧化钠	90	65	90

b.p. = 沸点

由表可知，表列的三种不锈钢只在一种介质条件下表现类似，而在所报告的所有介质环境中，304不锈钢与另两种不锈钢相比，具有同等或更高的耐腐蚀性。在有些环境下201不锈钢的耐蚀性优于430不锈钢，而在另外一些环境下430不锈钢的耐腐蚀性优于201不锈钢。因此，当考察全面腐蚀时，很重要的一点是不能只考虑一个因素，而要考虑多个因素的综合作用。

<sup>1</sup>Schwind, M. et al., 不锈钢世界, 2008年3月, p66ff

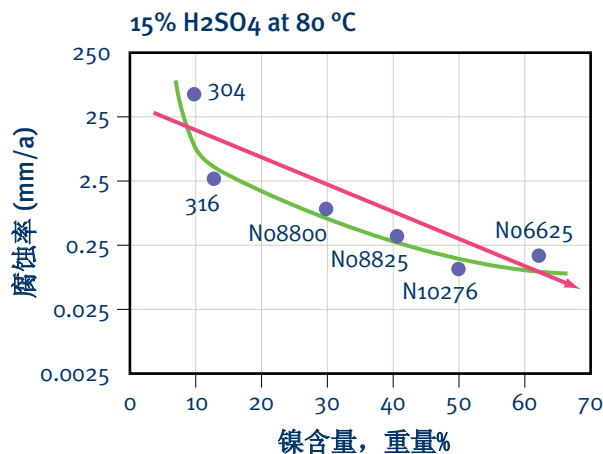


核电站

照片由杜克能源公司提供

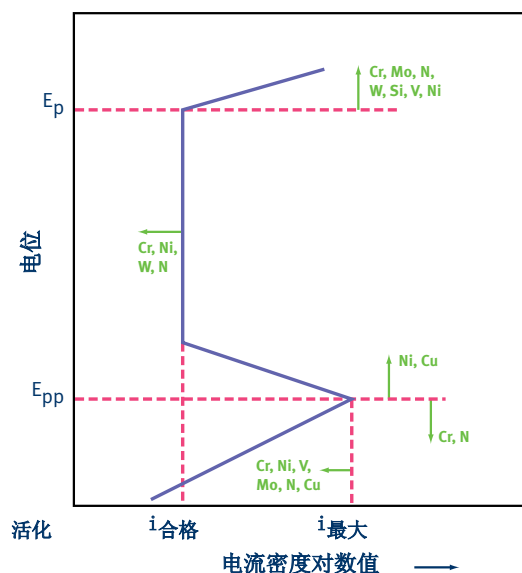
在还原性溶液如硫酸中, 增加合金的镍含量是提高耐腐蚀能力的一种方法。正常情况下人们不会使用腐蚀率高的合金。但在“反常”或非正常运行状态下, 这种情况可能发生。图6显示了在80°C、15%的硫酸溶液中, 增加镍含量对降低腐蚀率的影响。如前所述, 任何不锈钢的耐腐蚀能力都是各合金元素综合作用的结果, 而不是仅靠某一个元素。

图6  
镍含量对各类合金在 80°C、15% 的硫酸溶液中腐蚀率的影响  
(引自塞德里克斯[Sedriks<sup>2</sup>])



另一种观察耐腐蚀性能的方法是从电化学行为的角度, 这可以用合金元素对不锈钢阳极极化曲线的影响的示意图来说明, 见图7。

图7  
不同合金元素对不锈钢阳极极化曲线的影响示意图  
(引自塞德里克斯[Sedriks<sup>2</sup>])



镍降低了初级钝化电势 ( $E_{pp}$ ) 的电流密度, 将该电势推向惰性更大的方向。它还降低了钝化电流密度, 使得钝化状态下腐蚀率较低, 提高了材料进入过钝化范围的电位 ( $E_p$ )。

<sup>2</sup>Sedriks, A.J. (不锈钢的腐蚀, 第2版, Wiley-InterScience 1996.)

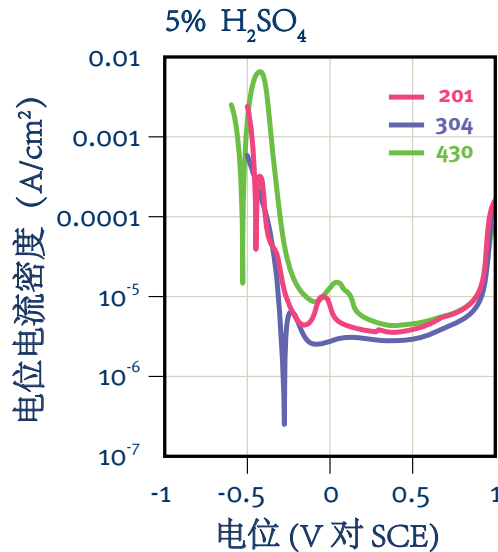


海水淡化设备一般采用奥氏体不锈钢和双相不锈钢

照片由Tim Pelling提供

图8 通过比较 304、201和430不锈钢在5%硫酸溶液中的极化曲线来具体说明镍的作用。

图8: 304、201和430不锈钢在5%硫酸溶液中的极化曲线比较  
(引自施旺德[Schwind])



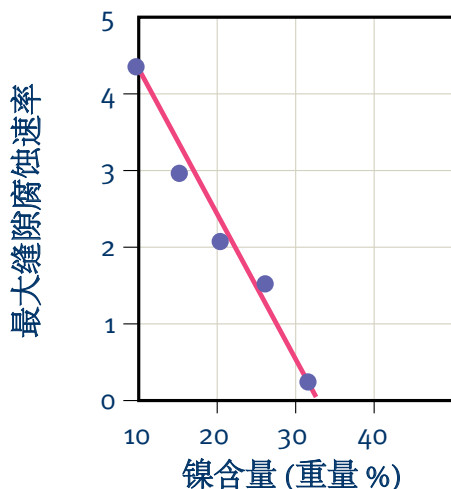
对比显示,当发生活化腐蚀和当不锈钢处于钝化状态时,镍对于降低腐蚀率有着积极的影响。通常人们都选择在钝化状态下具有合格腐蚀率的合金。但是,工艺条件的微小改变,比如温度的临时升高,可能会造成合金“进入活化状态”。因此,重要的是要选择活化腐蚀率不高,并且在工艺条件回归正常时能很快重新钝化的合金。

**耐氧化物点蚀能力** 合金耐点蚀发生的能力由耐点蚀当量数 (PREN) 来表示。最常用的公式是  $PREN = \%铬 + 3.3(\%钼) + 16(\%氮)$ , 尽管还有很多不同的公式试图将试验中观察到的性能表现与合金成分联系起来。比如,有些公式中元素钨前面的系数为正,而另一些公式中元素锰前面的系数为负。塞德雷克斯认为镍有较小却积极的作用。主体的合金含量很重要,但这只是确定合金实际耐点蚀能力的一个因素。热处理不好和夹杂物的存在(特别是硫化锰)所产生的金属间相(比如  $\sigma$ 、 $\chi$  相等)是降低耐点蚀能力的一个重要因素。如果是高铬和钼合金不锈钢,在正常焊接时可能会产生金属间相,而铁素体不锈钢是最敏感的(见第五章 连接)。镍对耐点蚀性能最大的贡献是它改变了材料的结构,使具有适当厚度的不锈钢材料更易于生产、焊接和加工而不形成有害的金属间相,较高合金化的不锈钢尤其如此。

**缝隙腐蚀** 众所周知镍可以减小缝隙腐蚀中的活化腐蚀率,如图9所示。这类似于图6所示的增加镍含量使腐蚀率降低。在这两种情况下,金属都是在活化状态时发生腐蚀。



图9  
镍含量对17%Cr-2.5% Mo不锈钢缝隙  
腐蚀扩散速率的影响  
(引自塞德里克斯[Sedriks<sup>1</sup>])



#### 使用案例纪录：免维护

香港葵涌集装箱码头入口处的昂船州大桥桥面高75米，桥的两个柱塔耸入高空290米。当1600米长的昂船州大桥于2009年建成时，它将成为中国全球贸易活动中一个重要组成部分。

为了满足严格的结构和表面处理的要求，英国伦敦的奥雅纳材料咨询公司选择S32005双相不锈钢热轧钢板（含4.5%-6.5%的镍）来建造桥塔上部的120米。将使用约2000吨的S32205，大多数厚度为20毫米。

奥雅纳还指定在混凝土桥墩和主桥塔飞溅区使用S30400不锈钢钢筋（含8.0-10.5%的镍）。这需要2882吨钢筋，最大直径50毫米。

在寻找包覆层材料时，设计者判断，尽管碳钢具有必要的450MPa的结构强度，但碳钢不能达到所要求的免维护。“奥氏体不锈钢的设计强度约为300Mpa，不能满足所需要的强度。”奥雅纳项目材料专家格莱汉·格治解释说：“钢必须更厚，因此更重，更昂贵：有了S32205，我们知道采用热轧中厚板，我们可以得到450Mpa的强度。”

不考虑标准奥氏体不锈钢的原因还有一个：要达到在这个有污染的海洋环境中的长效性能，对钢表面加工的要求本来十分严格。对这些材料所处环境的耐久性评估是C5M，即ISO环境分类中最糟糕的大气环境。

S32205对于设计者所要求的表面来说很理想。“与其它合金相比，S32205不容易发生点蚀和出现锈迹，并且让我们在选择最后的表面时更加灵活。”格治解释说：“最终表面粗糙度的控制变得不那么关键，即使它会沾污一些脏物和盐。”

双相钢桥塔和不锈钢钢筋的结合应当能创造出一座持久耐用的大桥。

照片：奥雅纳材料咨询公司，奥雅纳香港 [大桥]



Alessi 水壶

照片由Alessi 提供

# “镍有助于耐 腐蚀性”



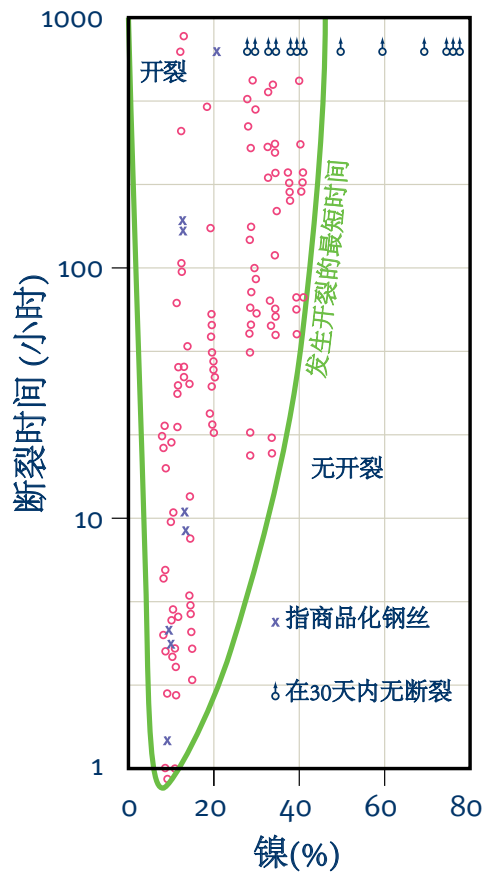
不锈钢在太阳能反射率和节能方面的创新应用

照片由拉法耶·维诺里建筑师  
[Rafael Vinoly Architects] PD 提供

**应力腐蚀开裂** 应力腐蚀开裂 (SCC) 有许多种不同的类型。奥氏体不锈钢在硫化氢介质条件下如天然气行业所遇到的环境中具有非常好的耐应力腐蚀开裂的能力。奥氏体不锈钢和双相不锈钢已经表现出优异的长期性能, 在如NACE MR0175 / ISO15156这样的标准中, 可以找到它们的使用指南。

氯化物应力腐蚀开裂已经研究了多年, 许多人对 “考普森曲线” 很熟悉, 它的数据来自强腐蚀性的沸腾氯化镁溶液试验。曲线显示出不添加镍的双相不锈钢耐氯化物应力腐蚀开裂的能力优于含镍量为6-12%的标准不锈钢。含镍量超过45%的合金在氯化镁溶液中几乎不受影响。实际上, 多数其它氯化物溶液远远没有氯化镁溶液的腐蚀性强, 尽管通常避免使用304和316L不锈钢, 但含6%钼的不锈钢在大多数情况下都具有足够的耐蚀性, 双相不锈钢也如此。

图10  
考普森曲线 - 镍对不锈钢  
在沸腾氯化镁中氯化物应力  
腐蚀开裂敏感性的影响



“奥氏体不锈钢在硫化氢环境中非常有用”



海上石油平台的加工设备和管道系统依靠含镍不锈钢来防止海水腐蚀。

照片由KM Europa 金属公司提供



#### 使用案例纪录：酱油发酵容器

生产精品酱油的介质条件腐蚀性很强，以至于其它食品加工行业中常用的不锈钢罐无法胜任酿造受欢迎的酱油的任务。日本已经倾向于使用耐腐蚀的玻璃纤维和加树脂衬的钢了。

对于含有约17%氯化钠的已经具有腐蚀性的炖煮环境，发酵中产生的酸使pH值降到约4.7。问题是，酱油中有机酸与氯化钠混合物的腐蚀性如此强，而发酵过程的时间又如此长（约6个月），以至于罐的维护费用可能会贵得令人难以接受。

最近的研究表明含钼的超级奥氏体不锈钢S32053可以抵抗传统酿造罐中使用的一般不锈钢所不能抵抗的腐蚀。

“超级奥氏体不锈钢不容易发生腐蚀，而S31603会出现缝隙腐蚀和应力腐蚀开裂，双相不锈钢S32506容易发生缝隙腐蚀。”日本最大的不锈钢生产商之一日本冶金工业公司的小林裕这样写道。

根据实验结果，自1645年开始酿造酱油的雅玛山公司为其在日本的工厂用S32053建造了100个发酵罐，容量达390,000升。这些罐从2002年开始投入商业使用，至今没有出现任何腐蚀。

如果雅玛山工厂内的S32053罐能经受时间的考验，它们的市场将相当广阔。新发酵罐使用超级奥氏体不锈钢的机会看来相当大。

照片：汤姆·斯库德拉为国际镍协会/日本冶金工业株式会社提供



照片由维尔 [Veer] 提供

## “120年免维护”



### 使用案例纪录：混凝土钢筋

如果跨越咸水港湾的桥梁120年不需要维修，想想能节省出多少时间和金钱吧：不用破开混凝土桥墩更换生锈的钢筋，道路养护人员维修时不会造成交通堵塞。

位于都柏林的奥雅纳咨询公司的工程师不仅构想出这样一座可靠的桥，而且使用不锈钢钢筋设计并建造了这座桥。那就是东爱尔兰的双跨布劳德麦多大桥，是连接都柏林和贝尔法斯特的高速公路的一部分，于2003年6月通行。

奥雅纳副董事兼大桥总设计工程师特洛伊·波顿说：with “我们的环境腐蚀性很强——桥墩会被飞溅的盐水波浪打湿，处于时干时湿的状态，未来要进场维修是非常、非常困难的。”  
“我们想要保证120年的设计寿命……我们需要让客户相信，我们有持久的解决方案，未来的维修只需花极少的钱。”

解决方案就是，支撑着横跨港湾、313米长桥梁的16个桥墩全部采用S31600不锈钢钢筋。

奥雅纳是第一个使用不锈钢钢筋的。波顿说：“这是一个解决了所有问题的永久的、持久的解决方案。”

总共使用了169吨不锈钢。

波顿说使用不锈钢钢筋，使这座造价1200万欧元的大桥费用增加不到3%，几乎可以忽略不计，却节省了大桥寿命期内的维护和修理费用。很难做到既能到达布劳德麦多大桥的桥墩而又不损坏具有敏感生态的泥滩，这也要求结构必须免维护。

受布劳德麦多大桥的启示，爱尔兰国家公路当局要求使用不锈钢来加强所有新桥的防浪墙。

照片：奥雅纳工程咨询公司工程师提供

# 第3章 高温性能

---



# 第3章

## 高温性能

“结构稳定性是它们在高温下得到广泛应用的一个主要原因”

在高温和低温下, 材料的选择是基于材料的性能, 并且通常要综合权衡。在高温下, 设计者感兴趣的性能包括力学性能如屈服强度和抗拉强度、蠕变强度或蠕变断裂、塑性、热疲劳、耐热冲击性能。感兴趣的物理性能包括热膨胀、导热率和电导率。抵抗环境影响的性能包括耐氧化、渗碳、硫化、渗氮性能。加工性能包括焊接性和成型性。还要考虑其它性能如耐磨性、防表面擦伤、反射率等。

这些性能在材料所经受的所有温度下都是重要的, 尤为重要是观察材料在其使用寿命中可能发生的性能变化。奥氏体不锈钢的结构稳定性是其在高温下得到广泛应用的一个重要原因。

总体来讲, 奥氏体不锈钢在高温下也能保持良好的强度, 至少与其它材料相比是这样。图11比较了一些奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢在各种温度下的短时高温屈服强度和抗拉强度。当温度低于540°C (1000°F) 时, 差别并不明显。超过这个温度以后, 铁素体不锈钢的强度迅速下降。一些特殊的铁素体不锈钢可以通过合金化提高其高温强度。



### 使用案例纪录：真空室

位于加拿大萨斯喀彻温大学的被称为同步加速器的设施产生的电子发出的光比太阳还要明亮几百万倍。研究人员利用这些光从事各种设计和制造工作。

最常用的S30400、S30403、S31603不锈钢被广泛用于真空室。

要达到真空状态必须尽可能多地去除气体分子。杂质不仅使电子束减速, 而且造成电子衍射, 就像雾将汽车前灯射出的光分散一样。有些同步加速器由铜或铝制成, 但从制造的角度来讲, 不锈钢更常用。CLS的运行负责人马克·德·荣如是说。



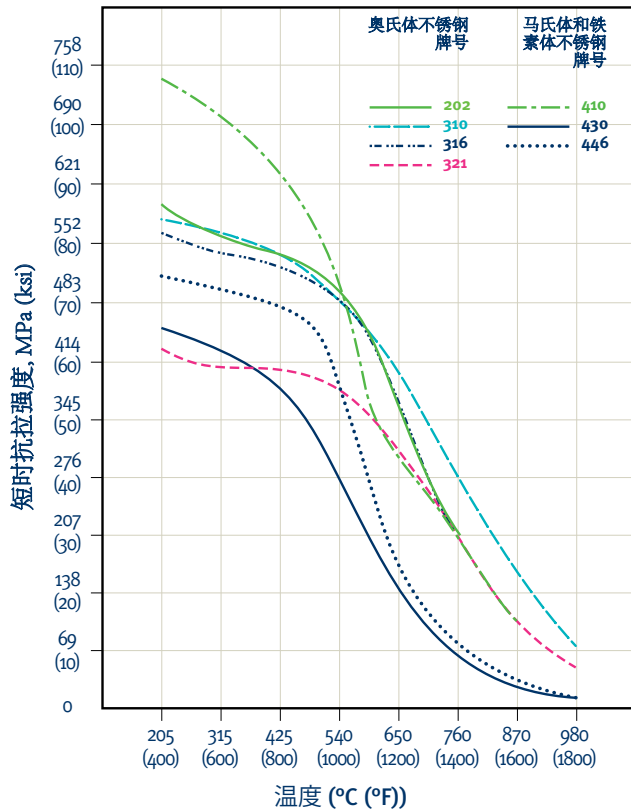
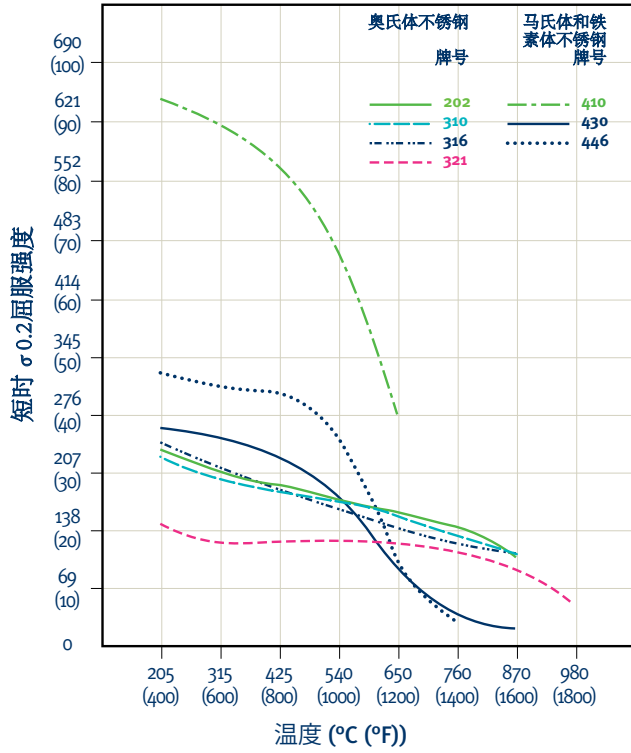
真空室部件必须在温度高达250°C的大烘箱里呆40个小时之久, 用于排除制造时吸收的气体。铝在150°C时开始失去强度, 但不锈钢不会如此——考虑到部件在真空中烘烤, 这点非常重要。“在我们正常的烘箱压力下, 不锈钢不会失去强度。”马克·德·荣说。

位于加拿大安大略省的约翰逊超真空公司在它生产的一些真空室中使用的是S30400不锈钢。与其它金属相比, S30400不锈钢的成本较低。而且它易于车削和焊接, 并且有足够的硬度, 可以嵌入到铜垫片里去。同步加速器的许多配件、法兰、离子泵和阀门都是不锈钢的, 因此, 用类似的金属来与它们配套简化了工艺。

500米长的203.2毫米不锈钢管和另外500米长的76.2毫米不锈钢管输送去离子水, 用于冷却不锈钢泵缸中的电磁体和吸收X射线的铜块。选用了S31600和S31603不锈钢, 因为去离子水会腐蚀碳钢。

照片: 加拿大光源公司, 约翰逊超真空公司, 萨斯喀彻温大学

图11  
 高温下不锈钢的屈服强度和抗拉强度  
 (摘自国际镍协会出版物)



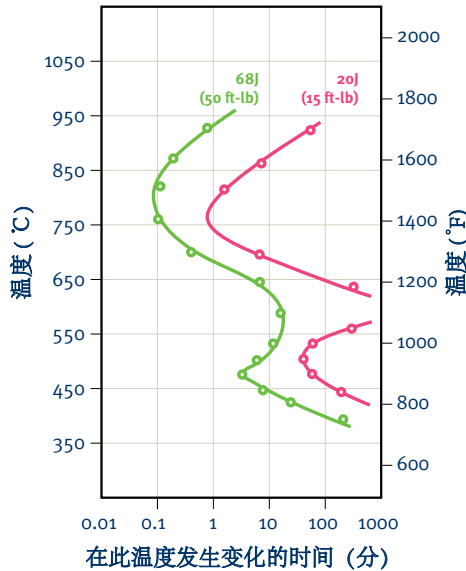
# “奥氏体不 发生475°C脆化”



照片由艾罗·海尔喀斯特  
[Eero Hyrkäs] 提供

含有13%或以上铬的铁素体不锈钢在400-550°C (750-1020°F) 温度范围内较短时间就发生脆化, 较高合金化的不锈钢(铬/钼) 在270°C这样的温度下脆化时间稍长一些。在最短时间发生脆化的温度称作“脆化曲线的鼻子”, 约为475°C (885°F)。这一现象被称作“475°C脆化”(或“885°F脆化”)。图12中下部“鼻子”显示出的脆化现象也同样影响着双相不锈钢中的铁素体相, 这就是为什么大多数双相不锈钢都有一个长期使用的最高温度, 这个最高温度为270°C (520°F) 左右或稍低。尽管奥氏体不锈钢没有这种脆化现象, 但奥氏体不锈钢焊缝和铸件中的铁素体会脆化。尽管通常量很小不会对性能产生明显有害的影响, 但低温下除外。铬含量小于13%的铁素体不锈钢, 比如409或410S不锈钢, 按照实际的铬含量, 可能没有这种脆化现象或者脆化现象仅在长期使用时会发生。但是, 它们的铬含量低, 强度低, 使它们的使用温度局限在约650°C (1200°F)。低合金化的铁素体不锈钢在汽车排气系统得到了广泛的应用。

图12  
铁素体合金S44800的脆化曲线, 显示出处于  
475°C时和金属间相析出时的脆化情况  
(自阿勒根尼卢德姆公司)



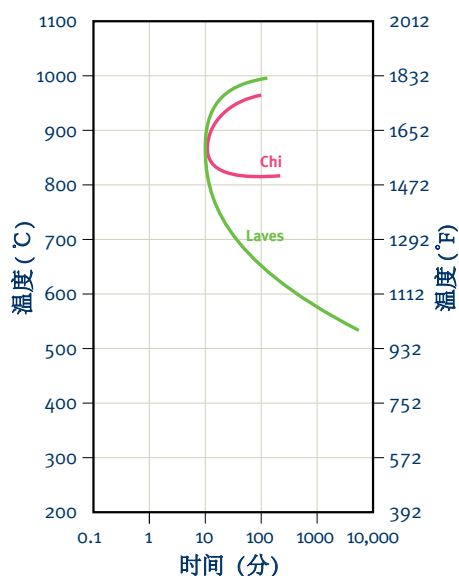
需要考虑的另一个显微组织的变化是有害的脆硬金属间相如 $\sigma$ 相的形成。为了方便叙述, 我们把所有这些金属间相统称为“ $\sigma$ ”相。它们在奥氏体和铁素体不锈钢包括双相不锈钢中都可以出现。图12中上部的“鼻子”是在高合金化铁素体不锈钢中出现的脆化。图13显示的是5%钼不锈钢金属间相的形成。合金成分不同, 析出的温度也不同, 但通常为565-980°C (1050-1800°F)。但是, 一些低铬铁素体不锈钢可以在480°C (900°F) 的较低温度下形成 $\sigma$ 相, 尽管时间很长。曲线的鼻子通常出现在温度范围的上端。

除了温度外,  $\sigma$ 相析出所需的时间也根据成分和加工(比如冷加工量)的不同而有很大的变化。铬、硅、钼、铌、铝和钛都能促进 $\sigma$ 相的析出, 而镍、碳、氮会延迟其形成。当镍含量足够高时, 可以完全抑制 $\sigma$ 相的形成。如果要在 $\sigma$ 相形成的温度范围内使用某种材料, 重要的是要评估部件

在其寿命内可能发生的脆化程度和脆化对部件性能的影响程度。当材料处于使用温度(除非有热疲劳)时, 通常脆化不是什么问题, 但在室温下可能成为一个严重的问题。



图 13  
在1150° C (2102° F) 下退火的  
0.05C-17Cr-13Ni-5Mo合金 (含  
0.145%N) 金属间相等温析出动力学



当材料在高温下使用时, 晶粒的大小是一个重要的影响因素。在奥氏体不锈钢中, 通常不希望细晶粒尺寸, 因为细晶粒会导致蠕变强度差。尽管在某些情况下高蠕变强度和断裂强度很重要, 可能希望奥氏体合金是粗晶粒组织, 但中等到细晶粒组织的综合性能最佳。粗晶粒有两个缺点: 热疲劳性能差, 热冲击性能差。在纯铁素体不锈钢中, 温度在1100°C (2010°F) 以上时, 晶粒可以快速长大。这种情况在焊接时可能发生, 形成晶粒粗大的、低塑性热影响区 (HAZ)。晶粒的粗化在铁素体不锈钢比在奥氏体不锈钢中快得多。

奥氏体不锈钢中的碳对于高温应用通常是有益的, 可以提高整个温度范围内的蠕变强度。如果形成了碳化物, 存在腐蚀性物质时 (通常在较低温度下、停机状态时) 可能导致一些腐蚀问题。在大多数高温压力容器的设计规范中, 对奥氏体

不锈钢既有最低含碳量的指标, 又有最高含碳量的指标, 它比低碳或无最低碳含量的不锈钢具有更高的设计强度。比如, 304H的最低碳含量为0.04%。

当在高温下使用任何材料时, 设备的设计必须考虑热膨胀, 否则会发生失效。铁素体不锈钢的热膨胀系数比奥氏体不锈钢的低, 但在设计时也始终要考虑在内。镍含量较高的不锈钢如310和330不锈钢, 比标准304不锈钢和稳定化的衍生牌号热膨胀率低。镍合金 (如合金600) 的膨胀率更低。

许多因素影响实际使用中部件的导热率。奥氏体不锈钢的导热率比铁素体不锈钢或碳钢都低, 也就是说它降低了通过金属的热传输。表面氧化层也对热传导起阻碍作用。

合金的抗氧化性能很重要, 也相对比较容易测量, 尽管在实际应用中可能产生问题。理想的情况是不锈钢表面形成氧化膜, 且生长速度慢, 一段时间后氧化膜仍很薄。氧化膜的膨胀系数与不锈钢相同。实际上, 当氧化膜超过一定厚度且温度发生波动时, 部分氧化膜会脱落, 新的氧化膜开始生长。通常应提供钢连续使用和断续使用的最高温度。

在不断升高的温度下, 铬含量对于保护氧化膜的形成起重要作用。有时候, 加入少量的硅、铝和铈也会有帮助。氧化膜从来都不是完美的, 由于热膨胀/收缩和机械应力, 会形成许多裂纹和其它缺陷。较厚的氧化膜可能会脱落, 下面形成新的氧化膜, 导致金属厚度的损失。在标准化测试中, 奥氏体不锈钢较高的热膨胀率 (与铁素体合金相比) 使奥氏体不锈钢在连续使用状态比在断续使用状态下评级高。铁素体不锈钢的情况正好相反。如表7所示, 该表给出了一些不锈钢合金在空



垃圾发电厂

照片由丹麦科技大学提供

“… 热膨胀 …  
必须始终被  
考虑…”

气中连续使用和断续使用时氧化膜脱落温度和建议的最高使用温度。有许多特殊的不锈钢，它们具有最佳的抗氧化性能。锰对抗氧化性能有有害的影响，因此200系列不锈钢在高温下的应用受限制。



**使用案例纪录：烟气脱硫**

烟气脱硫（FGD）系统对于减少燃烧矿物燃料的电站对大气的污染是十分必要的。FGD系统腐蚀条件可以十分恶劣。所使用的材料从腐蚀性最强区域使用的高镍合金到腐蚀性较小区域使用的含镍不锈钢。这个喷淋管线使用的是UNS N08367，一种含24%镍、6%钼的不锈钢，选择它是因为它的耐腐蚀性并易于加工成要求的规格。

罗莱合金

“防止金属粉化  
需要的特殊镍合金”

**表7**  
一些标准不锈钢的抗氧化性

牌号	氧化膜脱落的大致温度		空气中的最高使用温度			
			连续		断续	
	C	F	C	F	C	F
403	700	1300	700	1300	820	1500
430	825	1500	820	1500	870	1600
446	1100	2000	1100	2000	1175	2150
304	900	1650	925	1700	870	1600
309	1065	1950	1000	1850	1000	1850
310	1150	2100	1150	2100	1040	1900

不锈钢抗渗碳能力与保护性氧化膜的特性和镍含量有关。高温下含有一氧化碳或碳氢化合物的还原性环境，会造成碳扩散到金属上，使金属表层变硬变脆。随着镍含量的增高，不锈钢中碳的溶解度降低。因此，在渗碳环境中使用的合金或者是含镍量高的不锈钢，或者是镍合金。

硅对于增强保护性氧化膜是有益的，因此所选用的合金通常硅的含量较高。合金330有19%的铬，35%的镍和1.25%的硅，得到普遍使用。不含镍的不锈钢抗渗碳能力低。为防止金属粉化，即所谓“灾难性渗碳”（一种特殊形式的渗碳），要求使用特殊的镍合金。另一方面，高温气体中的硫可能对高镍合金造成损害，特别是在还原性气氛中。通常人们会选用较低镍含量的奥氏体不锈钢，在情况比较严重的条件下，选用高铬铁素体不锈钢。在这种情形下，无论选择何种钢，在性能上肯定只好折衷妥协了。

第4章  
成形

---



# 第4章

## 成形

“奥氏体不锈钢可以采用各种工艺成形”

**热成形**就热轧、锻造和热挤压等操作而言, 200和300系列奥氏体不锈钢的热成形性能被认为相当优异。这些热成形操作的温度范围一般从稍低于退火温度开始。表8显示了一些常用奥氏体不锈钢和几种双相不锈钢典型的热成形温度及其固溶退火温度。这些只是一般的温度范围; 对于具体的操作和钢种常常需要更严格的规定。

部件加热温度均匀非常重要, 因为较热的区域比较冷的区域更容易变形。大多数情况下, 热成型部件将进行充分的固溶退火处理以确保得到最佳的耐腐蚀性能。在高合金化奥氏体不锈钢如含6%钼不锈钢的热成形过程中必须特别小心。锻造过程中它们容易出现热裂纹, 在之后的退火处理中(去除热成形中形成的金属间相)需要进行充分的保温。双相不锈钢尽管在低温时强度较高, 但在热成型和退火温度下却非常脆弱, 因此在进行这些操作时, 必须小心确保其尺寸稳定性。在操作时应参考每种钢的具体参数, 并在热加工后进行检验, 确保材料达到了预期的防腐性能。

牌号	热成形温度范围		固溶退火温度	
	°C	°F	°C	°F
标准不锈钢 304、305、316、321等	1200-925	2200-1700	1040 最低	1900 最低
高温不锈钢 309、310	1175-980	2150-1800	1050 最低	1925 最低
6%钼不锈钢 201、202、204	1200-980	2200-1800	1150 最低	2100 最低
S32205	1230-950	2250-1750	1040 最低	1900 最低
S32750	1230-1025	2250-1875	1050-1125	1925-2050

**温成形**为了便于成形, 将奥氏体不锈钢部件稍微加热也是常用的工艺。与铁素体或双相不锈钢不同, 奥氏体不锈钢不存在第3章提到的475°C脆化的风险。含碳量低、稳定的奥氏体不锈钢可以短时间承受高达600°C (1100°F) 的温度, 而不会对其耐腐蚀性能造成明显损害。对于双相不锈钢而言, 应避免300°C (575°F) 以上的温成型。

**冷成形**奥氏体不锈钢具有优异的塑性。常用的验收标准是它们能冷弯180°, 半径为材料厚度的一半, 不考虑轧制方向。但是, 当成形经平整冷轧的奥氏体不锈钢时, 轧制方向很重要, 弯屈应朝向横跨轧制方向。当材料的初始平整(强度)提高, 最小弯曲半径也须增加。比如, 最小屈服强度为760Mpa (110ksi) 的1/2硬304钢板应能在芯轴上弯曲180°, 弯曲半径等于板的厚度。总的来说, 双相不锈钢的塑性不如奥氏体不锈钢, 但在退火条件下仍有良好的塑性。双相不锈钢通常不在平整轧制状态下使用, 除非用作冷拔钢丝。



照片由Alessi提供

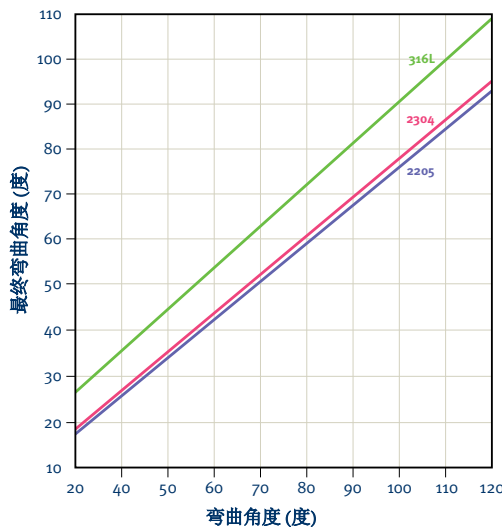
大多数双相不锈钢和较高强度200或300系列不锈钢由于其较高的屈服强度，成形比较困难。在对退火的300系不锈钢成形时已接近极限的设备，在成形同样厚度、强度更高的材料时困难很大。由于加工硬化，所有奥氏体和双相不锈钢都有弹性后效的问题。一般来讲，初始强度越高，冷加工的程度越大，回弹量也越大。图14比较了退火316L钢和双相2205钢的弯曲弹性后效。这里，双相不锈钢比奥氏体不锈钢需要更多的过弯（补偿回弹），为了达到90度角，316L钢必须弯曲至100度，而高强度的双相不锈钢需要弯曲至115度。

冷弯成型（滚压成形）是一种生产奥氏体不锈钢和双相不锈钢长型材（比如角钢、或槽钢）的高效和实用的方法。

**冲压和拉伸** 奥氏体和铁素体不锈钢通常都采用冲压和拉伸的方法成型。奥氏体不锈钢的特性就是高塑性和高加工硬化性的结合，这使得钢板的成形性非常好。

不用夹紧坯件，冲压或深冲就能使板材成型。金属在板面方向变形，减薄程度最小。一般来说，纯粹的冲压作业最好使用加工硬化率较低的奥氏体材料（比如304不锈钢）。拉伸成形是将坯件边缘牢固地夹紧通过模具成形。所有变形都通过拉伸完成，板材有相应的减薄。具有典型的高加工硬化率的301不锈钢采用拉伸成形可能比较有优势，因为它能有更大的冲压深度。钢板成形技术是复杂的，在大多数实际操作中，实际的成形是这两种方式的结合。表面处理、成形顺序和润滑对于确保奥氏体不锈钢光滑、高质量的外观至关重要。人们也许会认为标准304不锈钢及其衍生牌号的成形不同寻常，但实际上多年来已经成为通行的加工方法了。尽管奥氏体不锈钢具有很高的塑性，但在深度成形过程中，也有必要采取一次或多次中间退火，以便恢复其塑性，进行进一步的成形。

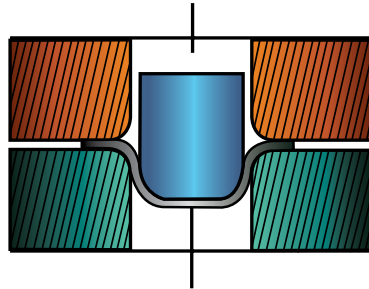
图14：  
退火的316L不锈钢与双相不锈钢S32304和S32205的回弹性能比较



“标准304不锈钢及其衍生牌号的成形被认为比较特殊，但是多年来已经成为通行做法”

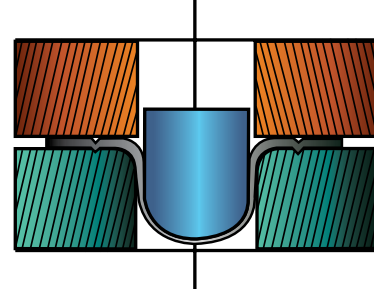
### 冲压

- 金属在模具中自由变形
- 大圆变形成窄圆筒必须靠宽度而不是厚度的变化  
(=高各向异性 “r” 值)



### 拉伸

- 金属用坯料夹具固定
- 厚度大大减薄
- 要求高伸长率 (A%) 和加工硬化指数 (n)



源自: <http://www.euroinox.org/>

双相不锈钢通常不通过冲压和拉伸来有效成形。如有成功进行了成形的情况,则考虑到双相不锈钢较低的塑性和较高的强度,成型设备和模具都进行过改造。

**旋压成形** 旋压成形 (也被称为车床旋压) 是一种广泛使用的板材成型方法,用于生产旋转对称的部件。这种方法特别适用于圆锥形部件的成形,而采用其它方法就相对比较困难。旋压成形时板材的变形可能较大,低加工硬化率的牌号如305不锈钢比较有优势。305不锈钢的镍含量稍高,铬含量稍低,这两者都使加工硬化率减小。双相不锈钢也可以进行旋压成形,尽管它们需要功率更大的设备和更多的中间退火步骤。

**冷锻** 对于棒材产品,通过在模具内进行轴向冲压,为螺丝、螺栓和其它紧固件完成头部成形是很常见的。材料需要有良好的塑性,少量的加工硬化是一个优势。常用的是305不锈钢或含铜的18/8不锈钢 (有时候称作302HQ)。具有低加工硬化性能的200系列不锈钢也容易进行冷锻。在一些双相不锈钢上也进行过冷锻操作。



照片由华盖创意提供

#### 使用案例纪录: 手表



手表

“我们非常自豪可以生产出优质的手表,人们早上起来带上它,做自己最喜欢的事,不管是潜水、冲浪、滑雪橇还是滑雪板,晚上又出去约会,从不需把它从手腕上摘下。”加利福尼亚的REACTOR手表奠基人吉米·额而姆斯说道。

“我们选择S31603钢,因为它耐磨、耐腐蚀、耐用、坚固,并易于加工。现在在运动手表行业中,它已经成为标准材料。”像大多数不锈钢一样,它的耐腐蚀性意味着它适用于那些可能对镍过敏的人群。

# 第5章 连接

---



# 第5章

## 连接

### 焊接

镍对于所有种类不锈钢的焊接性起着重要作用。奥氏体不锈钢天性宽容，这意味着即使在困难的情况下也能获得良好的、重复的结果。进行不锈钢焊接时，必须采取一定的步骤来确保焊接质量，包括焊前和焊后清理。不锈钢经常用于要求苛刻的应用中，比如需要耐腐蚀性能或高温性能の場合。因此，必须确保焊缝金属不成为最薄弱环节。一般情况下，钢的合金化程度越高，焊接时越发需要小心。

**奥氏体不锈钢** 奥氏体不锈钢的一个重要特性是无论是热处理还是焊接热量都不能使它们硬化。由于奥氏体不锈钢不易产生氢脆，因此它们通常不需要进行预热或焊后加热。材料无论薄厚均很容易焊接。清洁度（无油、无油脂、无水、无氧化皮等）对焊接非常重要。

奥氏体不锈钢的焊接可以采用大多数工业用焊接方法，但不能使用氧乙炔焊接，这种焊接方法不能用于任何不锈钢的焊接。最常用的焊接工艺有SMAW（焊条电弧焊）、GMAW（熔化极气体保护焊）、GTAW（钨极氩弧焊）、SAW（埋弧焊）、FCAW（药芯电弧焊）、点焊、电阻焊、激光焊、电子束焊等。很多（不是全部）奥氏体不锈钢不用填充金属就能焊接，也不用进一步的热处理。大多数超级奥氏体合金要求使用填充金属以便焊缝获得适当的耐腐蚀性能。通常，焊缝金属可以满足母材退火后的最低屈服和抗拉强度要求。焊缝的塑性通常比母材低，但还是不错的。低碳牌号的（L-牌号）填充金属常用于耐腐蚀应用。对于高温应用，碳含量较高的填充金属具有更高的高温强度。

许多300系列不锈钢填充金属的成分经过了调整，这样，它们在焊接凝固时可产生一定量的铁素体，可以防止凝固过程中的热裂纹。这样就允许较高的热输入和较快的焊接速度。存在一定量的铁素体意味着焊缝将会有少许铁磁性。凝固后完全或几乎完全为奥氏体的合金焊接时热输入必须较低。对于某些应用，希望使用低铁素体的焊缝金属，为此生产出某些特定的填充金属。对于大多数300系列不锈钢，名义上匹配的填充金属是最常用的填充金属。但有一些例外，如下：

- 1) 在焊接钛稳定化不锈钢时，由于钛会在电弧中氧化，最常使用铌稳定化填充金属。比如，321不锈钢使用347填充金属焊接。
- 2) 含有6%钼及更高钼含量的不锈钢采用Ni-Cr-Mo（比如625合金或“C”系列）镍合金填充金属焊接。有的钢中钼含量只有3%，这时使用的焊接填充金属钼含量要过匹配。



照片由拉法耶·维诺里建筑公司提供

“奥氏体不锈钢天性宽容”



- 3) 200系列不锈钢的焊接最常采用的是具有适当强度的300系列填充金属, 因为300系列填充金属更易于得到, 并且从一定程度上来讲, 焊接性更好。高氮200系列不锈钢在焊接过程中可能会损失一些氮。对于某些应用, 采用200系列填充金属是获得某些性能的正确选择 (尽管通常成本较高)。到目前为止, 304L和316L不锈钢的标准填充金属是最容易得到的。
- 4) 易切削奥氏体不锈钢如303不锈钢含硫量高, 通常认为无法焊接。如果不得不进行焊接, 可使用312填充金属进行少量焊接, 尽管会出现许多小裂纹而不能承受更大的应力。通常, 最好不要焊接这种钢。

奥氏体不锈钢母材金属通常有良好的低温性能。比如, ASME锅炉和压力容器规范不要求对用于-254°C (-450°F) 低温用途的锻轧奥氏体不锈钢如304、304L和316L进行低温冲击试验。但是, 必须对铸件和焊缝金属进行试验, 因为它们含有一些铁素体, 会在低温下脆化。为了满足低温冲击性能的要求, 可能需要使用特定焊接工艺和/或特定填充金属。

焊接不同的奥氏体钢时, 比如304L和316L钢, 可使用奥氏体填充金属。具体的选择取决于所要求的焊缝金属特性, 通常是耐腐蚀性。对于碳钢或铁素体、马氏体或沉淀硬化不锈钢与奥氏体不锈钢的焊接, 最常用的也是奥氏体填充金属。并且, 在选择填充金属前, 必须仔细评估焊缝金属所要求的性能, 比如强度和耐腐蚀性。为此生产出如309L、309MoL、312等填充金属, 它们都含有能使铁素体的含量高于标准牌号的成分, 这使它们对热膨胀的差异和出现的某些杂质更宽容。

在镍协会的出版物11007《耐腐蚀含镍不锈钢焊接操作指南》中, 可以找到更多与奥氏体不锈钢焊接有关的信息。

**双相不锈钢** 大多数双相不锈钢母材具有受控的组分、经过受控的热处理, 使其产生的铁素体在40-55%之间, 其余为奥氏体。进行焊接时, 加热和冷却速率不好控制, 产生的铁素体含量范围就较宽。重要的是, 要避免在焊缝金属或HAZ (热影响区) 中产生高于65-70%铁素体的焊接条件, 因为这对耐腐蚀性的负面影响很大, 还可能影响力学性能。

出于同样的原因, 多数规范也规定了最低铁素体含量为25%或30%, 尽管后果不是太严重。为了避免铁素体含量过高, 大多数双相不锈钢填充金属的镍含量比母材多2-3%。一般来说, 必须避免不使用填充金属的焊接。对于镍含量约为1.5%的节约型双相不锈钢, 填充金属的镍含量大约高6-7%以确保焊缝适当的性能。双相不锈钢焊缝适当的退火处理常常可以使铁素体含量从无法接受的高水平降下来, 因此, 铸件、焊管、管件可采用镍含量未增加的填充金属焊接, 甚至可以不用填充金属。



大多数双相不锈钢填充金属含有比母材高2-3%的镍

“照片由国际镍协会提供”



照片由Photos.com 提供

双相不锈钢的焊接通常不用预热或焊后热处理。双相不锈钢与奥氏体不锈钢的焊接,可使用双相填充金属或奥氏体填充金属。使用后一种填充金属的焊缝强度比双相不锈钢母材的强度低,但比奥氏体不锈钢母材的强度高。双相不锈钢与碳钢的焊接,通常采用铁素体含量较高的奥氏体填充金属(309L或309MoL)或双相不锈钢填充金属。与某些高强度(硬度)碳钢或低合金钢的异种金属焊接,可能需要在非不锈钢金属上进行预热和焊后热处理,这对双相不锈钢可能有影响。应询求冶金学的专业意见。

用于恶劣环境的双相不锈钢,特别是高合金化的双相不锈钢,要求增加额外的步骤以确保焊接部件符合预期的耐腐蚀性能和力学性能。更多关于双相不锈钢焊接的信息可参考国际钼协会(IMOA)出版的《双相不锈钢加工实用指南》(国际镍协会出版物16000)。

**铁素体不锈钢** 对于铬含量为10.5-12%的铁素体不锈钢,不应使用热处理来进行硬化,焊接时常常不用填充金属,或采用相匹配的稳定化的填充金属。如果能保证供货,有时可采用奥氏体填充金属如308L。一些可焊接的铁素体不锈钢母材(比如S41003)特意添加了镍,以便在加工特别厚的部件和焊接时控制晶粒大小。这些并非真正的铁素体不锈钢,称它们为“铁素体-马氏体合金”更合适。它们通常采用309L或者其它奥氏体填充金属来焊接。

不含钼的16-18%铬铁素体不锈钢的焊接,尽管可能有匹配的填充金属,但通常采用奥氏体填充金属,它们也常常是稳定化的。

较高合金化的铁素体不锈钢给焊接带来特别的挑战,对该问题的讨论超出了本文的范围。在实践中,经常使用奥氏体填充金属焊接这些合金。焊接时请参考合金制造商的参数表。由于厚壁制品中少见这些合金,因此常常需要异种金属焊接。例如,薄壁铁素体不锈钢管焊接到奥氏体不锈钢管板上,这些焊缝需采用奥氏体填充金属。

**马氏体和沉淀硬化(PH) 不锈钢** 这些材料也给焊接带来了特殊的挑战。如果希望焊缝金属与母材强度一样(或硬度一样),则应使用与母材有同样硬化处理效果的填充金属。但通常并非如此,而是采用奥氏体不锈钢或镍合金填充金属,所得到的焊缝强度较低,但塑性高。对于马氏体不锈钢,通常需要预热和焊后热处理。而对于沉淀硬化不锈钢,只有当厚度较大时,才有必要这么做。

## 焊后清理

由于所有的不锈钢都依靠保护氧化膜耐腐蚀, 因此进行适当的焊后清理是很重要的, 以满足最终使用要求。这些操作的详细资料见镍协会出版物10004。

## 其它连接方法

用于不锈钢的其它连接方法包括钎焊及机械连接方法, 如下所述。

**硬钎焊** 奥氏体不锈钢经常用钎焊方法连接。银铜合金尽管很昂贵, 但可能是最常用的钎焊金属。它们使用方便, 钎焊温度比较低并且有良好的耐腐蚀性能。镍钎料, 有的含铬, 耐腐蚀性能更高, 但需要更高的钎焊温度。对于特殊应用, 可以使用铜钎料和金钎料。在选择钎料前, 需要对每种应用的强度、耐腐蚀性、钎焊温度对母材的影响、钎料与母材相互间不良影响的可能性进行评估。

**软钎焊** 所有不锈钢都相当容易进行软钎焊, 尽管钛稳定化不锈钢可能有点问题。通常使用的是铅锡或锡银钎料。重要的是焊剂去除了氧化保护膜。所有钎料的耐腐蚀性能和强度要比母材低得多。

**机械连接方法** 不锈钢可以使用螺栓连接、螺丝连接、铆接、钉接、卷边接合、粘合等连接方法。一般来说, 这些连接方式均比焊接接头的强度低。在形成的缝隙中可能会出现腐蚀。建筑内饮用水管道系统常常采用这种机械连接方式, 安全可靠并具有成本效益。当使用不同的金属甚至是差别很大的不锈钢时, 还要考虑到电偶腐蚀的问题。例如, 铝和镀锌碳钢紧固件比不锈钢活泼, 惰性小, 会很快开始腐蚀, 尤其因为这些紧固件比不锈钢面积小。

“奥氏体不锈钢常常采用钎焊连接”

本章提到的填充金属参照表

AWS (A5.4)	EN (1600)
308L	19 9 L
309L	23 12 L
309MoL	23 12 2 L
312	29 9
316L	19 12 2 L

# 第 6 章

## 可持续的镍

---



# 第6章

## 可持续的镍

前几章介绍了与设计 and 性能要求有关的冶金学方面的内容。本章列举出这些特性所蕴含的更加广泛的意义，重点是关于这些要求的可持续性方面的内容。

个人和团体投资产品和服务系统以满足需求。在这个多元化的时代，需求多样且不断增长，并且总有各种不同的方式满足需求。资源的成本，包括获取这些资源的后果，正考验着地球的供应能力。能够降低材料使用度的材料变得至关重要，而镍可为此做出贡献。

材料的高效使用是必不可少的。以一种粗放的方式奢侈地满足需求——动用大量材料和能源解决一个问题——不再是可持续性的解决方案。在不锈钢中加一点镍，为数不多，常常使材料和能源的需求下降，为社会需求提供更轻便、更高效、更优雅的解决方案。用镍还是不用镍在很多方面是对生态效率的一种衡量，正是镍使得生态效率发生了积极的变化。

这里只给出几个例子，但它们却是成千上万个例子的代表。

### 建造持久的基础设施

**强度** 如果一项基础设施或一个设备能够使用较少的材料而发挥同样的功能，这就是一个进步。含镍不锈钢钢筋由于结合了良好的强度和耐腐蚀性，直径可以较小却能承受相同的负荷。由于结构中钢的重量减小，所需要的混凝土数量也成比例地减少。在这个例子中，少量镍的存在使得所需要的铁、水泥和混凝土的数量大大减少而结构却能发挥同样的功效。

**提高耐腐蚀能力** 在有盐分或重工业的气候带或地区，在结构或产品的整个寿命期内，少量镍的加入将大大减少资源的使用。在很多情况下，它将使产品寿命提高若干倍。根据产品或功能的不同，还可能完全不需要不断的维护和修缮：不用刷漆，不会因钢筋生锈造成混凝土剥落而进行昂贵的修复，不会造成交通延误（浪费燃料）或绕道通行（燃料使用增加）。此外，保护钢筋不受腐蚀所需要的“保护层”（所需混凝土和沥青厚度）减少。需要的混凝土和沥青数量减少，这意味着需要承载的重量减轻，立柱和支撑横梁有可能变细，其结果是所用的材料减少，重量减轻。使用含镍不锈钢使这一有效的循环得以实现。

**可持续性** 预示性分析显示，通过使用含镍不锈钢，桥梁或天桥在整个生命周期中材料的使用度可降低50%。这一估计考虑了与生产相关的能源、使用、材料最后的处置（从油漆到沥青）以及使用结束后材料较高的回收和再生比例，因为含镍不锈钢的品质和价值不会变差。这就是这样的一种材料：当其结构的环境效用降低之时，这个材料本身（以及所含的资金和劳动力）还能被其他社会需求所用。

“如果某个物件能够使用较少的材料而发挥同样的功能，这也就是一个进步”

“一座桥在其整个寿命期中材料使用度可减少50%...”

“使用耐用不锈钢屋面可以得到更好的热平衡”

## 提高能源效率

**反射率** 在寒冷季节保持建筑的温暖而在炎热季节保持建筑的凉爽是一个难题。一般通过能源的使用来实现：用能量取暖，用能量制冷，但都带有显著的引起气候变化的意味。更好的办法是聪明的设计。采用具有适当的表面和屋面倾斜度的耐用不锈钢屋面可以得到更好的热平衡。其结果是材料使用度较低——屋面与建筑物同寿命；材料近乎100%回收再生——能源强度减少。



匹茨堡会议中心

Photo courtesy of: Rafael Vinoly Architects PC

**增强耐腐蚀性** 对幕墙和屋面的贡献已经谈到，但是还有许多看不见的贡献，采用少量材料而明显提高效率。冷凝气体锅炉便是一个例子，它们是目前能源效率最高的锅炉，效率接近90%。由于有了含镍不锈钢的换热器表面，这一优异表现才成为可能。在冷凝换热部分，燃烧气体被冷却到水蒸气冷凝的温度，这样将额外的热量释放到建筑。

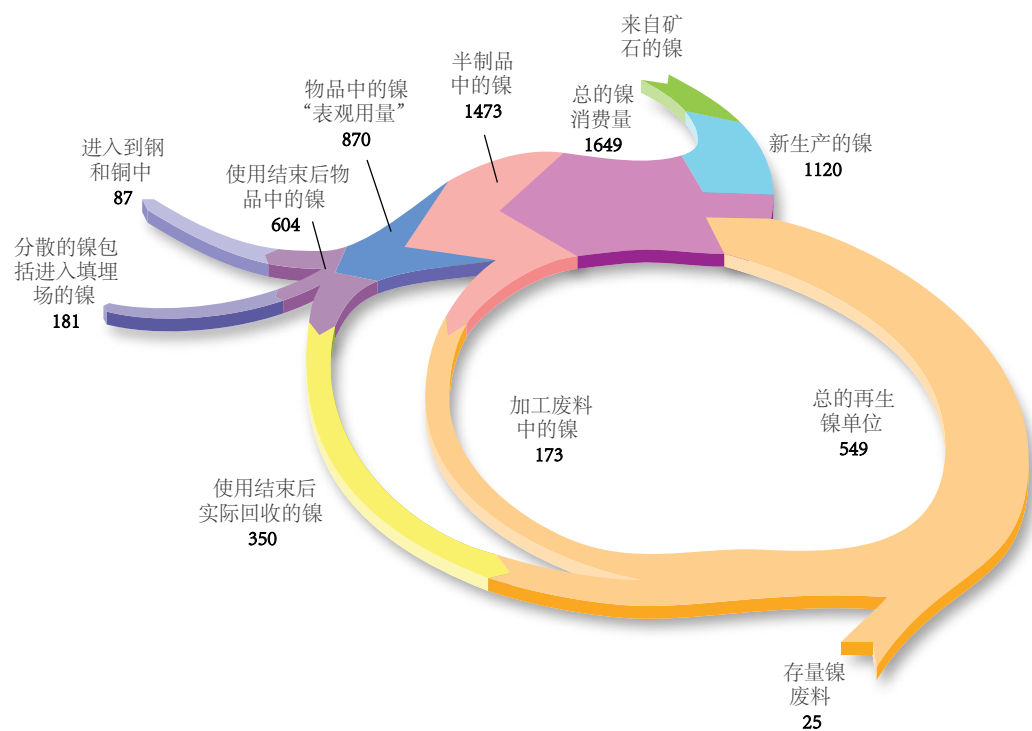
## 使用寿命结束后的再生

**几乎任何材料都能再生。**区别在于实现再生所需投入的努力——包括能量，以及能得到的再生材料的质量。金属通常在这方面表现出色，含镍不锈钢再生性非常优异。含镍废料具有显著的经济价值，支持了庞大的回收再生行业，使得“新”不锈钢不断生产出来，这些新不锈钢平均含有60%（全球平均）的再生成分而品质毫无损失。

商品化不锈钢60%的再生成分比例并不是冶金学上的极限，主要是废钢供应的限制。对不锈钢需求的扩大以及不锈钢产品的长寿命意味着废不锈钢供应上的滞后。从冶金学角度看含镍不锈钢的再生成分比例完全可以达到100%。

再生不仅仅很好地保留了有形的资源，而且减少了33%的能源需求，每吨减排32%的二氧化碳。随着不锈钢生产中废钢的使用越来越多，节约的能源可能高达67%，二氧化碳减排高达70%（耶鲁大学<sup>1</sup>）。

### 2000年镍的存量和流动，千吨



“再生减少了33%的能源需求，每吨减排32%的二氧化碳”

目前的存量镍大部分都在使用中：用在耐用结构、发动机或管道系统中，仍然处在产品生命周期的‘有用生命阶段’。

源自 耶鲁大学 2008

<sup>1</sup>Johnson, J. et al, The energy benefit of stainless steel recycling, Energy Policy. Band 36, Number 1, Jan. 2008, S. 181 ff.

## 负责任地生产和使用

生产镍的工业及其价值链是全球性的工业，该价值链直接支持着材料和能源以具有良好生态效率的方式被使用。原镍工业在全球每个气候带和地理区均存在并活跃着，在经济发展的每个阶段为各国经济作着贡献。

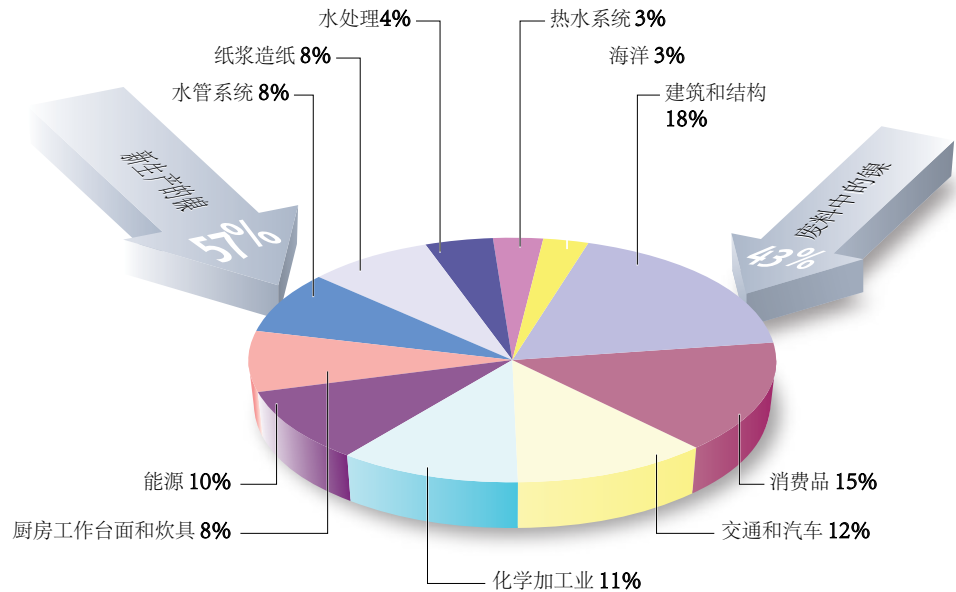
原镍工业的管理部门承诺其整个行业的行为是负责任的。尽管没有张扬，但镍工业已经往前迈了一步，它积极地与镍价值链行业接触来传播技术和工艺、使效率最大化、提高职业健康标准和执行情况、提高回收再生率以及支持人类和环境健康科学研究。

这一承诺已经编纂在国际镍协会可持续宪章中，并通过产品和材料全程服务（Stewardship）的正式程序以及国际采矿和金属协会（ICMM）的会员资格发挥作用。

总之，人们有充分的理由来利用镍的优势为工程和建筑难题提供技术上的解决方案，同时镍对于可持续性和应对气候变化的贡献正被最大程度地挖掘，并且在镍的整个生命周期，从原镍工业开始的整个镍价值链正在以一种负责任的态度管理着镍。

“从冶金学角度看含镍不锈钢的再生成分比例完全可以达到100%。”

## 镍的最终用途



镍用于各类应用领域。建筑、消费品、交通运输和化学加工工业消费的镍占镍总产量的50%以上。

来源: Pariser, 2007.



## 获取含镍不锈钢信息的来源

获取不锈钢包括含镍不锈钢的信息有多种途径,它们提供比本出版物更详细的信息。这里列出几个:

**国际镍协会:** 查询最新的出版物目录或登陆网站: [www.nickelinstitute.org](http://www.nickelinstitute.org) 和 [www.ni-china.org](http://www.ni-china.org), 除了能获得关于不锈钢的信息,还有关于镍合金、铜镍合金、含镍的铁和钢以及镀镍的信息。此外,《镍》杂志上有很多关于镍应用的文章,从我们的网站上可以看到各期镍杂志,包括前几年的。关于不锈钢的一些相关出版物列于下表。

文献编号	题目
14056	不锈钢: 冶金学和耐腐蚀性能简介
11021	高性能不锈钢
11022	不锈钢和镍基合金铸件
2980	奥氏体铬镍不锈钢在高温下的工程特性
9004	不锈钢的高温特性
313	在零度以下使用的奥氏体铬镍不锈钢
11023	永恒的不锈钢建筑
11024	不锈钢在建筑和结构上的应用
10087	不锈钢在饮用水处理厂的应用
10076	不锈钢在城市污水处理厂的应用
12010	不锈钢在游泳池建筑的应用
11003	含镍不锈钢在海水、天然水和盐水中的应用
11025	现代纸浆和造纸厂所用的不锈钢和特种合金
10057	硫酸介质中不锈钢和其它含镍合金的选择和性能
10075	硝酸介质中不锈钢和含镍合金的选择和使用
10063	有机酸中不锈钢和含镍合金的选择和应用
10020	耐氯气、氯化氢和盐酸腐蚀的合金
10015	湿法磷酸设备用合金的选择
10074	含镍合金在氢氟酸、氟化氢和氟气中的应用
10019	烧碱设备用合金的选择
10071	炼油和石化工业用锻轧和铸造耐热不锈钢和镍合金
10073	油气工业用耐蚀合金
14054	海洋紧固件用合金
11007	耐蚀含镍不锈钢的焊接加工指南
16000	双相不锈钢加工实用指南 (由IMOA出版)
11026	水工业用不锈钢的加工
10004	不锈钢的加工和加工后清理
10068	指定不锈钢表面处理

## 附录

**ISSF** (国际不锈钢论坛) – [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)

它们的网站有关于不锈钢生产和使用的信息包括健康和环境问题,提供不锈钢专业课程,与其它网站有链接。

很多国家和地区有自己的不锈钢行业组织,致力于不锈钢的正确应用。主要的不锈钢组织(以英语为主要语言)包括:

**EuroInox** (欧洲不锈钢发展协会)- [www.euro-inox.org](http://www.euro-inox.org)

提供欧洲多种语言的优秀出版物,成员包括欧洲各国不锈钢发展协会包括BSSA(英国不锈钢协会) [www.bssa.org.uk](http://www.bssa.org.uk)

**SSINA** (北美特殊钢工业协会) – [www.ssina.com](http://www.ssina.com)

**ASSDA** (澳大利亚不锈钢发展协会)- [www.assda.asn.org](http://www.assda.asn.org)

**NZSSA**(新西兰不锈钢发展协会)- [www.hera.org/nz/nzssda](http://www.hera.org/nz/nzssda)

**ISSDA** (印度不锈钢发展协会) – [www.stainlessindia.org](http://www.stainlessindia.org)

**SASSDA** (南非不锈钢发展协会) – [www.sassda.co.za](http://www.sassda.co.za)

### 其它不锈钢发展协会包括:

巴西 – [www.nuclcoinox.org.br](http://www.nuclcoinox.org.br)

中国 – [www.cssc.org.cn](http://www.cssc.org.cn)

日本 – [www.jssa.gr.jp](http://www.jssa.gr.jp)

墨西哥 – [www.cendi.org.mx](http://www.cendi.org.mx)

泰国 – [www.tssda.org](http://www.tssda.org)

### 其它机构:

**IMOA** (国际钼协会)

– [www.imoa.info/](http://www.imoa.info/)

**ICDA** (国际铬发展协会)

– [www.icdachromium.com](http://www.icdachromium.com)

## 文中提到的合金的成分

数值单位为重量%，除非另有说明

编号	AISI 或常用名	EN 牌号 大约	C (最大)	Cr	Ni	Mo	其它
<b>300 系列奥氏体不锈钢</b>							
S30100	301	1.4310	0.15	17	7	-	-
S30200	302	1.4319	0.15	18	9	-	-
S30430	302HQ	1.4567	0.10	18	9	-	Cu
S30300	303	1.4305	0.15	18	9	-	S
S30400	304	1.4301	0.08	19	9	-	-
S30403	304L	1.4301	0.03	19	9	-	-
S30409	304H	1.4948	0.10 max. 0.04 min.	19	9	-	-
S30500	305	1.4303	0.12	18	12	-	-
S30900	309	1.4833	0.20	23	13	-	-
S31000	310	1.4841	0.25	25	20	-	-
S31600	316	1.4401	0.08	17	11	2.2	-
S31603	316L	1.4404	0.03	17	11	2.2	-
S31635	316Ti	1.4571	0.03	17	11	2.2	Ti
S31703	317L	1.4438	0.03	19	12	3.2	-
S31726	317LMN	1.4439	0.03	19	15	4.2	N
S32100	321	1.4541	0.08	18	10	-	Ti
S34700	347	1.4550	0.08	18	10	-	Nb
S31254	-	1.4547	0.02	20	18	6.2	N, Cu
S32053	-	-	0.03	23	25	5.5	N
S32654	-	1.4652	0.02	24	22	7.2	N, Cu, Mn
S34565	-	1.4565	0.03	24	17	4.5	N, Mn
N08020	Alloy 20	2.4660	0.06	20	34	2.5	Cu, Nb
N08028	Alloy 28	1.4877	0.03	27	32	3.5	Cu
N08330	330	1.4864	0.08	18	35	-	Si
N08904	904L	1.4539	0.02	20	25	4.5	Cu
<b>200 系列奥氏体不锈钢</b>							
S20100	201	1.4372	0.15	17	4.5	-	Mn
S20153	201LN	-	0.03	17	4.5	-	Mn, N
S20200	202	1.4373	0.15	18	5	-	Mn
<b>双相不锈钢</b>							
S32101	2101	1.4162	0.03	21	1.5	-	Mn, N
S32304	2304	1.4362	0.03	23	4	0.2	N
S32205	2205	1.4462	0.03	22.5	5.5	3.2	N
S32506	-	-	0.03	25	6.5	3.3	N, W
S32750	2507	1.4410	0.03	25	7	4	N
<b>400 系列铁素体不锈钢</b>							
S40900	409	1.4512	0.08	11	-	-	Ti
S43000	430	1.4016	0.12	17	-	-	-
S44600	446	1.4749	0.20	25	-	-	-
S44800	29-4-2	-	0.010	29	2.2	4	-
<b>400 系列马氏体不锈钢</b>							
S41003	-	1.4003	0.03	11	0.5	-	-
S41000	410	1.4006	0.15	12	-	-	-
J91450	CA6NM	1.4317	0.06	13	4	0.7	-
<b>其它类型</b>							
S17400	630/17-4PH	1.4542	0.03	17	4	-	Cu, Nb

# 国际镍协会全球办事处

## 国际镍协会总部

55 University Avenue  
Suite 1801  
Toronto, ON Canada M5J 2H7  
Tel: + 1 416 591 7999  
Fax: + 1 416 591 7987  
[ni\\_toronto@nickelinstitute.org](mailto:ni_toronto@nickelinstitute.org)

## 国际镍协会澳大利亚办事处

c/o Australian Stainless Steel Development  
Association (ASSDA)  
Level 15, 215 Adelaide Street  
Brisbane, QLD 4000 Australia  
Tel: + 61 7 3220 0722  
Fax: + 61 7 3220 0733  
[ni\\_australasia@nickelinstitute.org](mailto:ni_australasia@nickelinstitute.org)

## 国际镍协会中国办事处

中国北京东直门南大街14号保利大厦办  
公楼677-678号  
[ni\\_china@nickelinstitute.org](mailto:ni_china@nickelinstitute.org)  
[info@ni-china.org](mailto:info@ni-china.org)

## 国际镍协会欧洲技术信息中心

The Holloway, Alvechurch  
Birmingham, England B48 7QA  
Tel: + 44 1527 584 777  
Fax: + 44 1527 585 562  
[birmingham@nickelinstitute.org](mailto:birmingham@nickelinstitute.org)

## 欧洲镍工业协会

Sixth Floor  
Avenue des Arts 13  
Brussels 1210 Belgium  
Tel: + 32 2 290 3200  
Fax: + 32 2 290 3220  
[euronickel@euronickel.org](mailto:euronickel@euronickel.org)

## 国际镍协会印度办事处

K-36, 1<sup>st</sup> Floor  
Hauz Khas Enclave  
(behind Hauz Khas Postamt)  
New Delhi 110 016 India  
Tel: + 91 11 2686 5631/2686 3389  
Fax: + 91 11 2686 3376  
[nissda@gmail.com](mailto:nissda@gmail.com)  
[ni\\_india@nickelinstitute.org](mailto:ni_india@nickelinstitute.org)

## 国际镍协会韩国办事处

B-1001, Kumho Richensia  
Yeouido-dong, Yeongdeungpo-gu  
Seoul 150 947 South Korea  
Tel/Fax: + 82 2 786 5668  
[ni\\_korea@nickelinstitute.org](mailto:ni_korea@nickelinstitute.org)

## 国际镍协会巴西办事处

c/o ICZ-Instituto de Metais Não Ferrosos  
Av. Angélica, 2118, conj 93  
Higienópolis  
São Paulo – SP Brasil  
CEP 01228-000  
Tel/Fax: + 55 11 3214 1311  
Fax: + 55 11 3214 0709  
[douglas.dallemule@icz.br](mailto:douglas.dallemule@icz.br)

## 国际镍协会日本办事处

Shimbashi Sumitomo Bldg. 1F  
5-11-3, Shimbashi, Minato  
Tokyo 105-8716 Japan  
Tel: + 81 3 3436 7953  
Fax: + 81 3 3436 2132  
[ni\\_japan@nickelinstitute.org](mailto:ni_japan@nickelinstitute.org)

## 镍生产商环境研究协会 (NiPERA)

2605 Meridian Parkway, Suite 200  
Durham, NC 27713 U.S.A  
Tel: + 1 919 544 7722  
Fax: + 919 544 7724  
[info@nipera.org](mailto:info@nipera.org)

**Ni**ckel

镍：一种高品质的元素





[www.nickelinstitute.org](http://www.nickelinstitute.org)

 中国特钢企业协会不锈钢分会  
STAINLESS STEEL COUNCIL OF CHINA SPECIAL STEEL ENTERPRISES ASSOCIATION

  
**Nickel**  
**INSTITUTE**  
*knowledge for a brighter future*