


Originally Published by Steel Institute VDEh

# 钢铁生产概览

德国钢铁学会 编 中国金属学会 译



 冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

# 钢铁生产概览

德国钢铁学会 编  
中国金属学会 译

北 京  
冶金工业出版社  
2011

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2011-0541 号

Licensed edition of STAHLFIBEL, 2007Edition, with the prior express permission of  
Verlag Stahleisen GmbH, Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf, Germany

©2007 original edition by Verlag Stahleisen GmbH, Germany

## 内 容 简 介

本书是由德国钢铁学会组织专家编写而成的一本关于钢铁生产的科普读物，从科技角度通俗阐述了钢铁生产的各个环节，内容包括钢铁材料的基本概念、钢铁生产的原燃料和辅助材料、炼铁、炼钢、铸造、钢材加工、材料检测、质量和工厂管理、节能环保以及钢材的应用等。本书不仅可以使读者深入浅出地了解有关钢铁生产和技术方面的现状及发展情况，而且为我国钢铁生产领域撰写科普书籍提供了有益的借鉴。

本书可供希望多方面了解钢铁各专业相关知识的钢铁业内人士、相关行业有关人员和钢铁使用部门的技术人员及管理人员阅读，也可供高等院校钢铁及相关专业的教师和学生参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

钢铁生产概览 / 德国钢铁学会编；中国金属学会译。

—北京：冶金工业出版社，2011.1

书名原文：Steel Manual

ISBN 978-7-5024-5508-8

I. ①钢… II. ①德… ②中… III. ①炼钢 IV. ①TF7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 013312 号

出版人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街高祝院北巷 39 号，邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 王 优 美术编辑 李 新 版式设计 金舵手

责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5508-8

北京印刷一厂印刷；冶金工业出版社发行；各地新华书店经销

2011 年 1 月第 1 版，2011 年 1 月第 1 次印刷

169mm × 239mm；17 印张；274 千字；258 页

80.00 元

冶金工业出版社发行部 电话：(010)64044283 传真：(010)64027893

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

(本书如有印装质量问题，本社发行部负责退换)

# 编 者

## 来自德国钢铁学会：

Dr.- Ing., Dipl.-Phys. Michael Degner

Dr.-Ing. Reinhard Fandrich

Dipl.-Ing. Gerhard Endemann

Dr.-Ing. Jean Theo Ghenda

Dipl.-Ing. Karsten Letz

Dr.-Ing. Hans Bodo Lüngen

Dr.- rer. nat. Ingo Steller

Dr.-Ing. Hans-Joachim Wieland

Dipl.-Ing. Achim Winkhold

## 来自钢铁信息中心：

Dipl.-Ing. Ralf Bartos

Dr. rer. pol., Dipl.-Kfm. Reinhard Winkelgrund

## 译 者

黄运红 肖金福 王卫卫等

## 审 校

王福明 姜钧普 李光瀛

# 前 言

德国钢铁学会组织专家编写的这本《钢铁生产概览》，从科技角度通俗地阐述了钢铁生产的各个环节，包括钢铁材料的基本概念、钢铁生产的原燃料和辅助材料，炼铁、炼钢、铸造、钢材加工、材料检测、质量和工厂管理、节能环保以及钢材的应用等。读者可以从中对钢铁生产的过程有一个比较全面的了解。

本书的特点是，深入浅出地描述技术问题，专业性强且通俗易懂，对非本专业的冶金工作者、钢铁相关行业和钢铁使用部门的技术人员及管理人员都具有阅读参考价值。在德国，本书已成为颇受欢迎、销售量较大的专业科普读物。

中国金属学会组织专家将该书译成中文，希望通过本书中文译本的出版，为我国钢铁战线的技术人员、管理人员和其他工作人员以及相关行业的有关工作人员，提供一本通俗的、能够了解和学习钢铁生产和技术方面知识的科技读物，同时也使读者进一步了解钢铁生产技术的发展情况。

我们对德国钢铁学会和德国钢铁出版社为本书出版给予的多方面支持表示感谢，同时还要感谢中国金属学会顾问、前秘书长仲增墉博士为本书的引进和推介所做的大量工作。

北京科技大学黄运红，钢铁研究总院肖金福、王卫卫、陈雷、张宏亮、刘晓，中国金属学会罗光敏、曹莉霞、车彦民等同志参加了部



分章节的翻译工作，北京科技大学王福明教授、姜钧普教授和钢铁研究总院李光瀛教授对全书相关章节进行了终审和校核。此外，北京科技大学黄务涤教授、中国金属学会王维兴教授给予了十分热情的帮助，冶金工业出版社王优同志为本书的文字编辑加工付出了很多辛苦和努力，中国金属学会赵晶同志负责对外联系和整个出版的组织工作，在此对他们一并表示感谢。

由于时间较紧、水平有限，原著又是由德文转译成英文，有些文字无法详细正确翻译的现象在所难免，书中不妥之处敬请读者批评指正。

中国金属学会  
2010年12月

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| <b>1 钢铁——现在和未来材料</b> ..... | 1  |
| 1.1 钢铁创新 .....             | 1  |
| 1.2 基本原理 .....             | 5  |
| 1.3 钢的不同种类 .....           | 10 |
| 1.3.1 一般分类 .....           | 10 |
| 1.3.2 钢的命名体系 .....         | 12 |
| 1.3.3 钢材名称 .....           | 13 |
| 1.3.4 钢号 .....             | 15 |
| 1.3.5 钢的分组 .....           | 15 |
| <b>2 钢铁生产的原燃料</b> .....    | 21 |
| 2.1 铁矿 .....               | 21 |
| 2.1.1 铁矿的种类 .....          | 23 |
| 2.1.2 铁矿质量的要求和评定 .....     | 25 |
| 2.1.3 铁矿石的预处理 .....        | 27 |
| 2.2 废钢 .....               | 32 |
| 2.3 还原剂 .....              | 33 |
| 2.4 辅料 .....               | 35 |
| 2.5 耐火材料 .....             | 35 |
| <b>3 从铁到钢</b> .....        | 37 |
| 3.1 高炉 - 转炉炼钢法 .....       | 39 |
| 3.1.1 焦炭冶金 .....           | 39 |
| 3.1.2 煤冶金 .....            | 39 |
| 3.2 电弧炉炼钢法 .....           | 39 |

|          |             |           |
|----------|-------------|-----------|
| 3.2.1    | 直接还原冶金      | 39        |
| 3.2.2    | 废钢冶金        | 40        |
| 3.3      | 二次冶金        | 40        |
| 3.4      | 新技术开发       | 41        |
| <b>4</b> | <b>铁矿还原</b> | <b>43</b> |
| 4.1      | 炼铁生产        | 43        |
| 4.1.1    | 炼铁厂         | 43        |
| 4.1.2    | 高炉内部的工艺流程   | 49        |
| 4.1.3    | 高炉产品        | 52        |
| 4.1.4    | 高炉的物料平衡     | 54        |
| 4.1.5    | 工艺控制        | 55        |
| 4.1.6    | 展望          | 56        |
| 4.2      | 直接还原工艺      | 57        |
| 4.2.1    | 煤气还原工艺      | 58        |
| 4.2.2    | 固态还原工艺      | 64        |
| 4.3      | 熔融还原工艺      | 68        |
| 4.3.1    | 熔融气化炉       | 68        |
| 4.3.2    | 铁浴反应器       | 71        |
| 4.4      | 铁水预处理       | 72        |
| <b>5</b> | <b>炼钢</b>   | <b>75</b> |
| 5.1      | 炼钢炉料        | 75        |
| 5.2      | 炼钢过程        | 77        |
| 5.3      | 精炼过程的发展现状   | 78        |
| 5.4      | 氧气炼钢        | 79        |
| 5.4.1    | 纯氧精炼        | 81        |
| 5.4.2    | 过程自动化       | 88        |
| 5.5      | 电炉炼钢        | 88        |
| 5.5.1    | 电弧炉         | 90        |
| 5.5.2    | 熔炼过程        | 92        |



|          |                     |            |
|----------|---------------------|------------|
| 5.5.3    | 电炉炼钢工艺的现状 .....     | 93         |
| 5.5.4    | 其他的电冶金工艺 .....      | 97         |
| 5.6      | 平炉炼钢工艺 .....        | 98         |
| 5.7      | 炉外精炼 .....          | 99         |
| 5.7.1    | 基本原理 .....          | 99         |
| 5.7.2    | 炉外精炼工艺 .....        | 101        |
| 5.7.3    | 真空处理 .....          | 104        |
| 5.7.4    | 特殊精炼工艺 .....        | 107        |
| 5.7.5    | 特殊熔炼的目的 .....       | 108        |
| 5.8      | 前景 .....            | 110        |
| <b>6</b> | <b>钢水浇注工艺 .....</b> | <b>113</b> |
| 6.1      | 连续铸锭 .....          | 114        |
| 6.1.1    | 连铸过程 .....          | 115        |
| 6.1.2    | 连铸机的类型 .....        | 118        |
| 6.1.3    | 自动化 .....           | 119        |
| 6.1.4    | 近终形连铸 .....         | 121        |
| 6.1.5    | 水平连铸 .....          | 124        |
| 6.2      | 模铸 .....            | 125        |
| 6.3      | 雾化成形 .....          | 126        |
| <b>7</b> | <b>铁和钢的浇注 .....</b> | <b>127</b> |
| 7.1      | 铸铁 .....            | 127        |
| 7.1.1    | 灰铸铁 .....           | 128        |
| 7.1.2    | 球墨铸铁 .....          | 128        |
| 7.1.3    | 可锻铸铁 .....          | 129        |
| 7.2      | 铸钢 .....            | 129        |
| <b>8</b> | <b>钢的加工成形 .....</b> | <b>131</b> |
| 8.1      | 轧钢基础 .....          | 132        |
| 8.1.1    | 形变 .....            | 132        |

|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 8.1.2 | 轧制            | 133 |
| 8.2   | 轧钢产品          | 138 |
| 8.3   | 轧机设备          | 141 |
| 8.3.1 | 轧钢机架          | 141 |
| 8.3.2 | 轧钢机架的分类       | 142 |
| 8.3.3 | 轧辊            | 144 |
| 8.3.4 | 轧制机组          | 145 |
| 8.3.5 | 连轧机组          | 147 |
| 8.3.6 | 精整            | 148 |
| 8.4   | 热轧生产环节        | 149 |
| 8.4.1 | 开坯轧制          | 149 |
| 8.4.2 | 成品轧制          | 150 |
| 8.5   | 其他成形工艺        | 156 |
| 8.5.1 | 无缝钢管生产        | 156 |
| 8.5.2 | 焊管生产          | 157 |
| 8.5.3 | 锻造和冲压         | 159 |
| 8.6   | 钢的冷成形         | 166 |
| 8.6.1 | 冷轧            | 166 |
| 8.6.2 | 酸洗线和连轧机组的组合   | 168 |
| 8.6.3 | 变截面轧制         | 170 |
| 8.6.4 | 光亮钢材          | 170 |
| 8.6.5 | 冷拔            | 173 |
| 8.6.6 | 钢冷成形的其他方法(举例) | 174 |
| 8.7   | 钢的分割技术        | 175 |
| 8.8   | 钢的连接技术        | 176 |
| 8.9   | 保护钢材防腐的涂层和阻挡层 | 183 |
| 8.9.1 | 有机物涂层         | 185 |
| 8.9.2 | 无机物涂层         | 187 |
| 8.9.3 | 金属涂层          | 188 |
| 8.9.4 | 化学涂层          | 192 |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 8.10 钢的热处理 .....                     | 194        |
| 8.10.1 退火 .....                      | 197        |
| 8.10.2 淬火 .....                      | 197        |
| 8.10.3 回火 .....                      | 197        |
| 8.10.4 调质处理 .....                    | 197        |
| <b>9 材料测试 .....</b>                  | <b>199</b> |
| 9.1 基本原理 .....                       | 199        |
| 9.1.1 使用要求 .....                     | 199        |
| 9.1.2 失效原因 .....                     | 199        |
| 9.1.3 断裂力学 .....                     | 200        |
| 9.1.4 影响材料特征性能的因素 .....              | 200        |
| 9.2 材料测试 .....                       | 200        |
| 9.2.1 破坏性测试 .....                    | 202        |
| 9.2.2 无损检测方法 .....                   | 207        |
| <b>10 质量管理 .....</b>                 | <b>211</b> |
| <b>11 工厂管理 .....</b>                 | <b>213</b> |
| <b>12 支持环境保护和能源管理的可持续资源利用 .....</b>  | <b>217</b> |
| 12.1 粉尘和污泥 .....                     | 217        |
| 12.2 钢的循环 .....                      | 219        |
| 12.3 渣和其他副产品 .....                   | 219        |
| 12.4 能源 .....                        | 220        |
| 12.5 CO <sub>2</sub> 排放与大气污染控制 ..... | 221        |
| 12.6 可持续发展需考虑的因素 .....               | 223        |
| 12.7 总结 .....                        | 225        |
| <b>13 钢材的应用 .....</b>                | <b>227</b> |
| 13.1 广泛的应用范围 .....                   | 227        |
| 13.2 钢种和系统解决方案 .....                 | 228        |

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| 13.3 | 能够满足最高要求的钢材 .....   | 233 |
| 13.4 | 用于现代科技的广泛加工性能 ..... | 247 |
| 14   | 钢材冶炼简史 .....        | 249 |

## 钢铁——现在和未来材料

### 1.1 钢铁创新

钢铁由于其性能多种多样，且可回收利用，成为当今和未来工业社会可持续发展的支柱之一。钢铁的应用范围涉及几乎所有可以想象得到的工程领域，如机械制造、桥梁建筑、钢结构、发电和环境技术、原料处理和运输、包装机械等，在此无法一一列举。一个国家或地区钢铁的生产和利用水平，一方面取决于人口数量，另一方面取决于这个社会当前的科技和经济发展水平。世界粗钢产量从1900年的40Mt增至2006年的1240Mt（见图1-1）。钢铁现在是并且未来仍将是材料的第一选择，在本世纪它仍然能提供最大的价值财富。在当今不断发展的工业社会中，钢铁将继续保持其重要地位。从图1-2中可以看出，1970年与2006年世界钢材与铝、镁和塑料产量的对比情况。图1-3所示为德国的钢铁市场。图1-4所示为德国钢铁应用的不同领域。

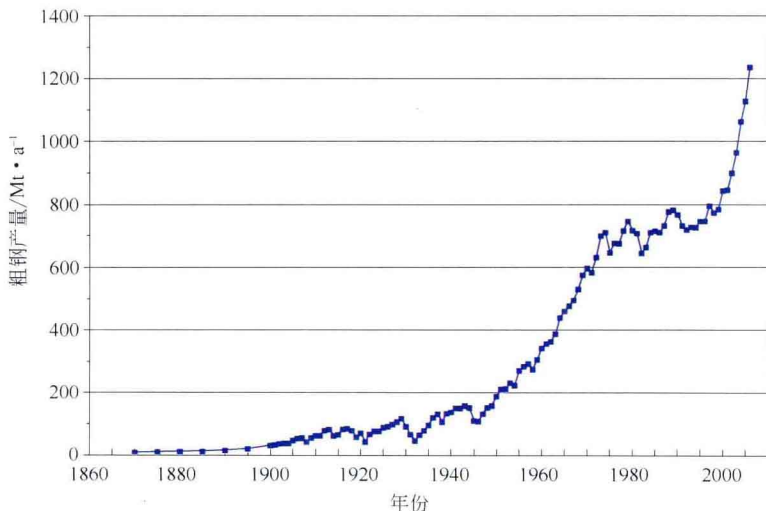
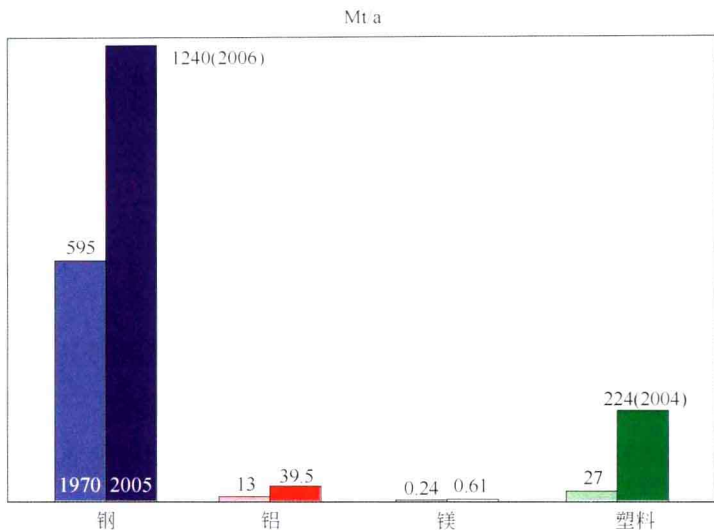


图 1-1 世界粗钢产量



来源： 国际钢铁协会 (ISI) 黑色金属经济协会 (WV Metalle) 美国地质调查局 (U.S. Geological Survey) 欧洲塑料工业协会德国分会 (Plastics Europe Deutschland e.V.)

图 1-2 世界产量 (1970 年 /2006 年)

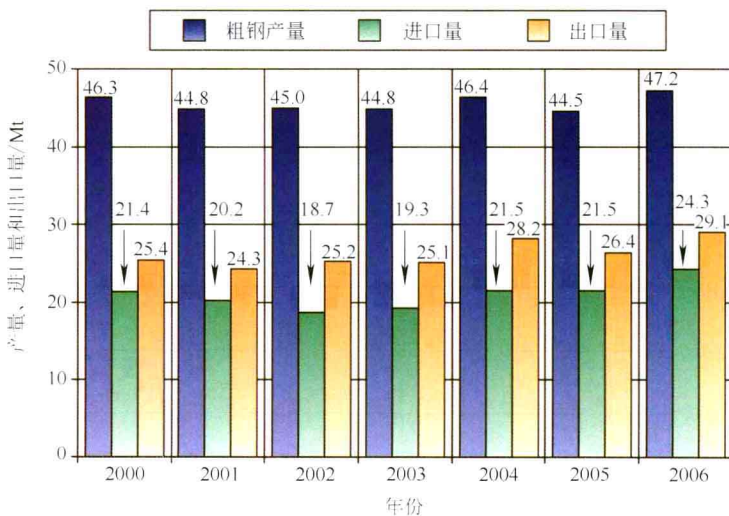


图 1-3 德国的钢铁市场

然而，钢铁是否能维持它的主导地位在很大程度上取决于其使用性能未来的发展情况。



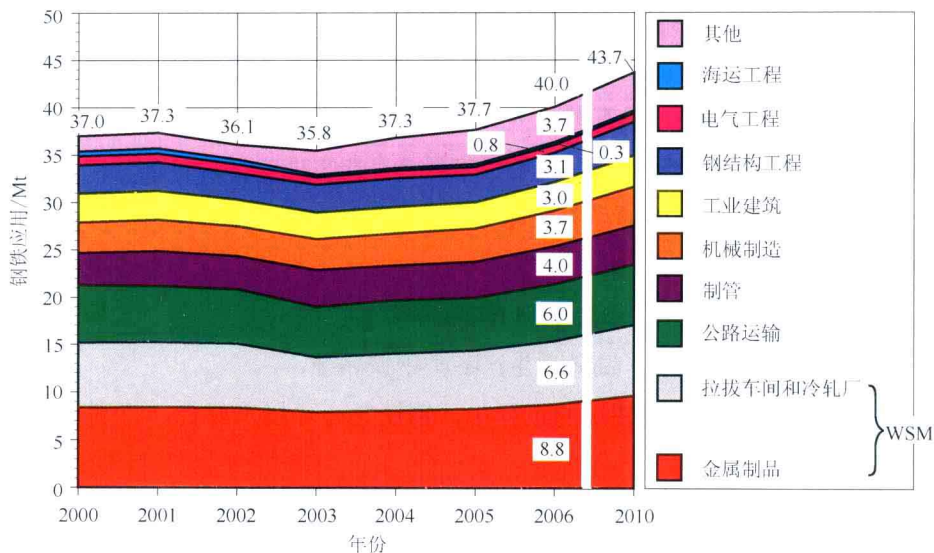


图 1-4 德国钢铁的利用状况 (ECSC, 即欧洲煤钢共同体的产品)

(来源: 德国钢铁中心 (Stahl-Zentrum, Germany))

WSM = 德国钢铁与金属加工经济协会 (German steel and metalworking association)

目前, 钢铁仍是最重要的、通用性和适应性最强的工程材料。与其他主要的竞争材料相比, 钢的制造成本也比较低。例如, 从原矿中提炼铁所消耗的能量只是生产原铝的 10%。在产量方面, 钢铁生产水平大约是所有有色金属总和的 20 倍。

钢的通用性和适应性体现在它具有各种各样的性能, 如下列所示:

- (1) 适合热加工和冷加工;
- (2) 具有可焊接性;
- (3) 具有可切削性;
- (4) 具有硬度、可延展性和耐磨性;
- (5) 具有耐腐蚀性;
- (6) 具有耐热性和抗高温变形 (如抗蠕变) 性。

现有大量标准和常规的钢种证明了钢的适用性。德国钢铁学会 (Steel Institute VDEh) 和欧洲钢铁注册局 (European Steel Registration Office) 联合发布的欧洲已注册钢种大约有 2000 个, 其中 1500 种属于特殊钢。除了那些标准钢种

外，也有很多是非标准钢种。按照所规定的钢种性能，钢的生产由一定的工序组成，并且需要大量专有的技术，这些专有技术只有在工业化比较发达的国家才拥有。钢铁作为一种材料，具有进一步发展的巨大潜力。

以下事实可以解释钢铁现在乃至将来都具有非常重要意义的原因：

(1) 可以经济利用的原矿石储量共计约 1600 亿吨，所以含铁材料有一个稳固的资源基础；

(2) 与其他材料相比，钢铁生产的能耗相对较少；

(3) 可以优质、经济、高效地生产各类钢铁品种；

(4) 在生产、加工和使用的过程中，钢铁具有环境友好性，特别是其可以 100% 回收；

(5) 所要求的性能可以选择通过合金化、成形加工或热处理来获得；

(6) 钢易成形、易连接、易加工，具有灵活的适用性。

钢铁的研发系统地研究了钢铁生产和工艺的各个阶段，包括合理的热处理。冶金学为研发提供了最重要的基础。进一步研发的目标主要涉及以下内容：

(1) 确保化学成分分析误差小；

(2) 达到高洁净度和组织结构规则性；

(3) 识别所含相的性质和化学成分；

(4) 确定并控制微观组织中相的比例与分布；

(5) 精确控制所需的晶粒尺寸。

晶粒尺寸在常温和低温下使用的钢种中起重要作用。随着晶粒尺寸的减小，钢的强度和韧性不断提高。因此，获得微小晶粒组织的方法特别重要。

钢铁的进一步研发目标是提高其加工性能并获得优良的使用性能，以确保其适用性最大化。

钢铁的进一步发展前景包括，通过快速凝固来细化材料的铸造组织。非常精细的铸造组织可以用“喷雾沉积”方法获得，在此过程中，所需的铸造组织由雾化的金属液滴变化而成。在“熔融金属旋转”和“熔融金属雾化”的过程中，薄带或粉末颗粒被高速淬火，致使某些合金（如加入硼和硅的铁基合金）凝固成微晶结构或者没有结晶的非晶态玻璃状。用这种方法生产的材料展现出了全新的磁性和力学性能，可以在先进的技术解决方案中使用。

钢在复合材料中作为一个组分方面的应用，也为其开辟了新的应用领域。作为一种基体，钢可以将力传递到承重纤维上。包含钢的复合材料已经被使用，重要的例子包括预应力混凝土以及涂层复合板。

如果钢铁生产商们能够把握现有机会，并在重要经济发展领域中开发出具有潜力的应用产品，钢铁行业前景一定非常光明。基本可以确定的是，通过传统的如微合金化和改善组织等提高力学性能的方法，可以开发出新的、高质量的、应用理想的钢种。在其他领域，钢铁可能与其他材料复合起来，形成新的高性能复合材料。在更先进的领域中，铁作为新材料的一种组分在某种程度上更多的是居于次要位置，虽然它的存在可能仍然是重要的。

## 1.2 基本原理

### 钢

指的是碳含量通常小于 2%、铁含量远多于所含有的其他元素的材料；有些含铬钢可能碳含量大于 2%，但是通常 2% 是钢与铸铁的分界（EN 10020）。

作为一种化学元素，铁属于金属族，具有晶体结构。铁在自然界中不能以单质形式存在，而是与其他元素组成化合物。因此，它属于贱金属。

铁的“相对原子质量”（过去习惯称：原子量）是 55.85；原子序数是 26，也是铁元素在“元素周期表”中的位置，铁可能呈现 +2 价和 +3 价。同样地，金属材料“钢”是一种铁元素与其他非金属或金属元素组成的合金（混合物）。非金属合金元素包括碳、硅、磷、硫，金属合金元素包括锰、铬、镍、钼和其他许多元素。对钢的生产最重要的合金元素是碳。钢产品预期的使用性能可以通过改变合金元素的数量和种类来获得，不希望出现的性能也可以通过这种方法来避免。铁、黑色（含铁）金属材料和钢等术语，每一个