

## 不锈钢与碳排放：行业排放及相关数据





# 目录

- 引言
- 基本知识
- 不锈钢产品在主要应用行业的生命周期
- 碳排放
- 使用寿命在110年以上的构造物，其中合金在生产过程中的碳排放情况
- 附录：结果摘要
- 参考资料和信息来源



## 引言

2022年1月

像任何其他重点行业一样，不锈钢行业也在持续努力降低运营过程中的碳排放。

然而，需要指出的是，在不锈钢行业内，大体分为两类生产体系，分别是：

1. 以废钢为原料的生产体系，大量使用报废的不锈钢和/或类似的合金材料，这些原料经过回收后用于生产新的不锈钢。地理上，这类生产体系大多位于报废材料和废钢供应比较充足的地区。
2. 生产含镍生铁所需的大量镍并非来自废不锈钢，而是从镍矿石中提炼，然后再转化为含镍生铁。地理上，这类生产体系往往布局在废不锈钢缺乏的地区。

当前，全球普遍存在废不锈钢供应量不足的问题，无法满足以全废钢为原料生产不锈钢。未来几十年，这种情况仍然可能延续。

因此，本文旨在阐明不锈钢行业存在多少排放以及排放的来源，为此，我们对以下三个源头的碳排放进行了量化。

- a. 范围一排放：包括全资拥有或控股子公司的直接排放。
- b. 范围二排放：包括企业外购的电力、蒸汽、加热和制冷服务所产生的间接排放。
- c. 范围三排放：指矿石的采掘、制备和运输过程中的相关排放，以及后续铁合金在生产和运输过程中所生产的排放，包括这些过程中所需电力生产的排放。

特别说明：目前，对于镍矿石采掘过程和后续含镍生铁生产过程的相关排放，不锈钢生产企业尚未提供相关数据。主要原因是各国在法律上设置的披露限制。尽管如此，部分数据可以从行业研究机构获取，因此，本手册列出的这些数据作为“指示性参考数据”使用。

上述三个排放源让我们能够“从摇篮到坟墓”全面了解不锈钢行业的碳排放情况。

## 基本知识

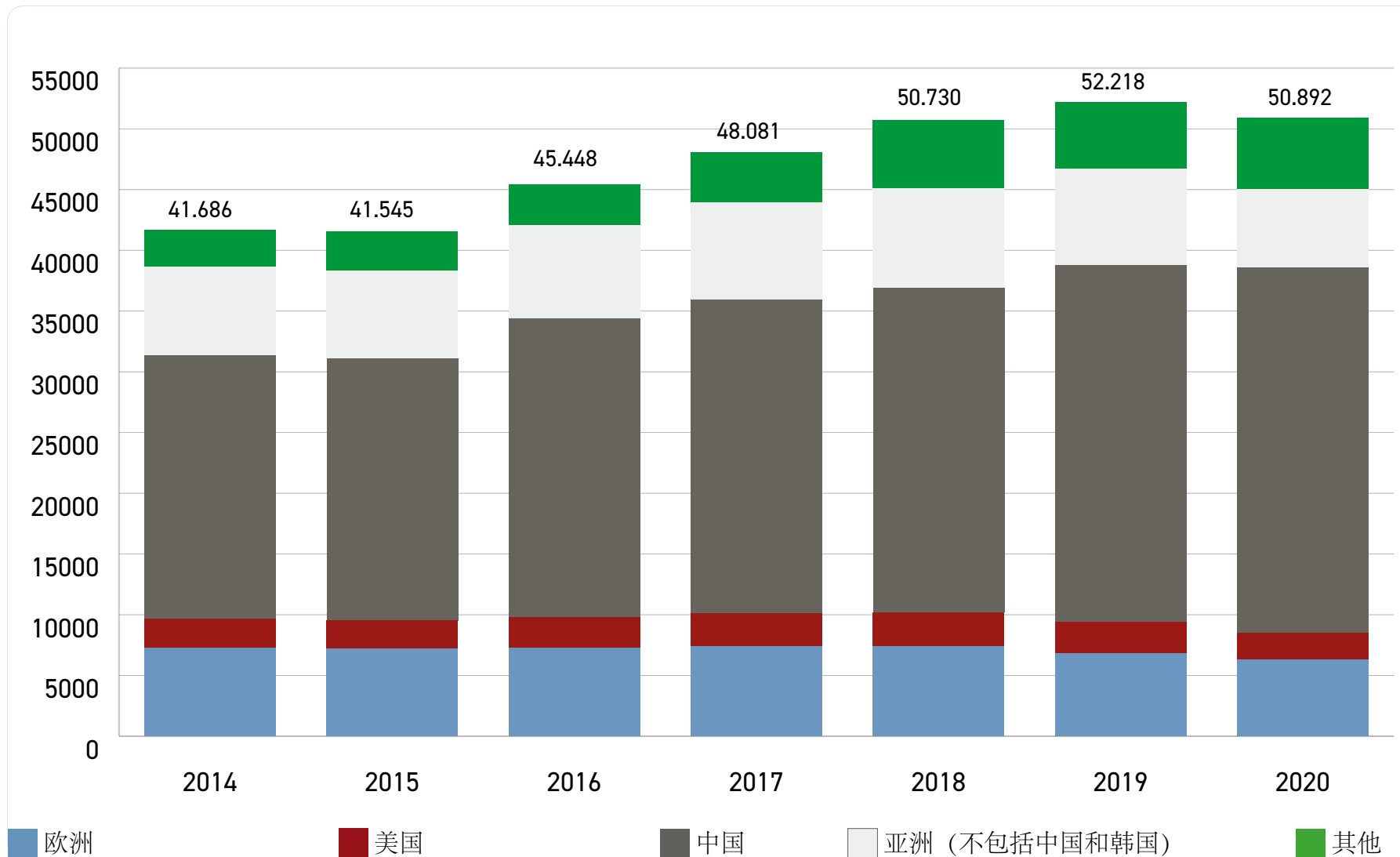
不锈钢作为一个术语，指的是一系列含铬量至少为10.5%且用途极其广泛的金属家族。铬对于实现金属的“不锈”特性至关重要，其他合金元素（例如镍、钼和铜）则提供了大范围的机械和物理属性。

不锈钢应用广泛，从家用餐具到化工行业的反应槽罐不一而足。不锈钢不仅具有耐腐蚀性和耐锈蚀性，还具有低维护和百分百可再循环利用的特性，因此是一种理想的基础材料。事实上，不锈钢的机械属性推动了不锈钢在建筑和公共工程上的使用，例如，铁路、地铁、隧道以及桥梁。食品贮罐和运输车辆往往使用不锈钢制成，因为不锈钢不仅方便清洁，而且具有优秀的卫生属性。由此也引发了不锈钢在商用厨房和食品加工厂的使用，原因是不锈钢不仅可以通过蒸汽清洁、消毒，而且不需要额外的处理。

对于不锈钢行业而言，废钢本身具有较高价值。唯一的限制性因素是废钢的供应能力，尤其是在新兴国家。不锈钢的耐久性限制了废钢的供应能力。例如，当不锈钢被用于建筑物时，它会在建筑物里存在多年，直至建筑物被拆除，它才能被重复利用。



图 1 不锈钢粗钢产量（坯锭当量），按地区划分，单位：千吨  
 其他：巴西、俄罗斯、南非、韩国、印度尼西亚  
 来源：国际不锈钢论坛，2021年

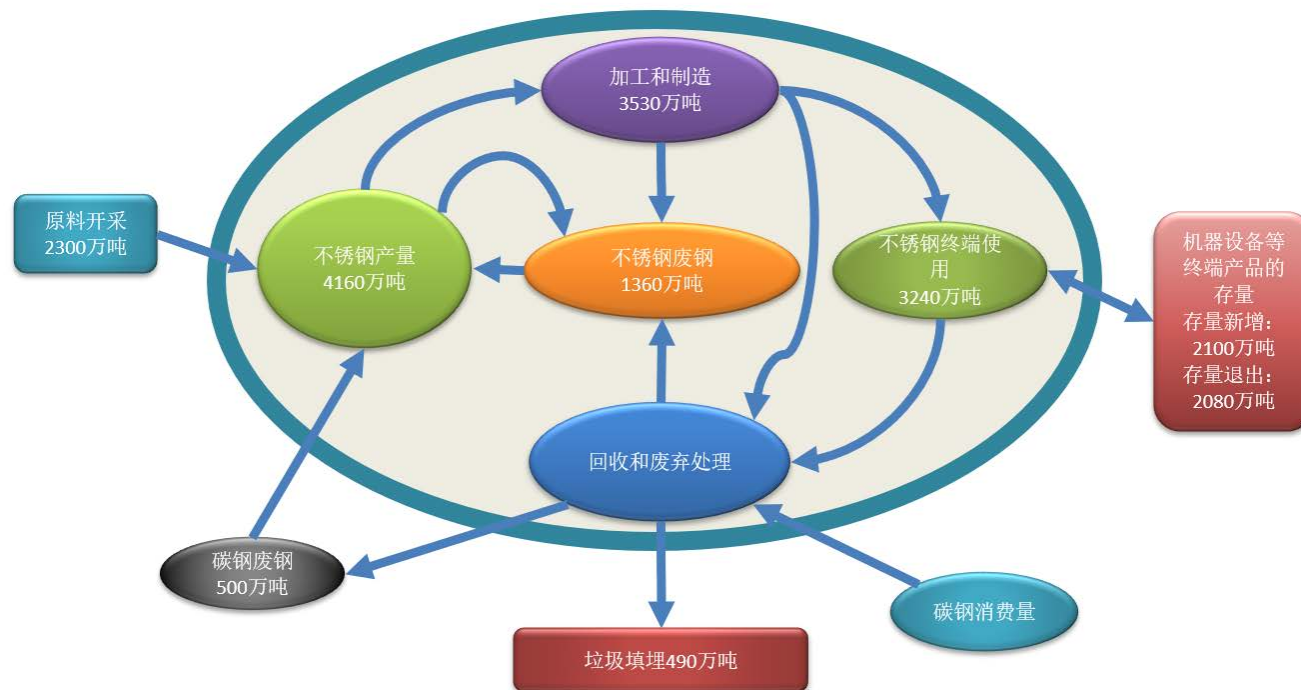


不锈钢可以百分百循环利用，是循环利用率最高的材料之一。据估计，至少85%的不锈钢在其生命终点阶段得到循环利用（参见表1）。根据废不锈钢的类型、位置及供应能力，电炉生产线具有一定经济优势。另外，不锈钢的循环利用系统非常高效，并且不需要补贴支持。

过去20年间，全球共生产了约6.7亿吨不锈钢（国际不锈钢论坛，2021年）。在此期间，全球不锈钢年度产量也从1900万吨升至5000万吨（参见图1）。不锈钢消费量的增长速度在全球范围内是所有材料中最快的（国际不锈钢论坛，2021年）。不锈钢具有的一些属性，例如，百分百循环利用性、重复利用性、耐久性、低维护性以及产品安全性等属性，解释了其消费量出现如此惊人的增长的部分原因。

图2所示为不锈钢的流通情况与废钢生成和使用的相关性。根据耶鲁大学的研究，生产不锈钢的材料中，50%左右是废钢（不锈钢废钢和碳钢废钢），原生料占不锈钢生产所用材料的约50%。不仅如此，耶鲁大学的科研项目（2019年）还为六个主要应用行业的不锈钢产品生命周期提供了重要的估算数据（参见表1）。

图2 2015年不锈钢的生命周期。（来源：耶鲁大学/国际不锈钢论坛不锈钢项目，2019年）





## 不锈钢产品在主要应用行业的生命周期

最终用途	平均寿命 (以年计)	垃圾填埋	回收循环		
			合计	不锈钢	碳钢
建筑与基础设施	50	8%	92%	95%	5%
交通 (乘用车)	14	13%	87%	85%	15%
交通 (其它)	30				
工业机械	25	8%	95%	95%	5%
家用电器与电子	15	30%	70%	95%	5%
金属货品	15	40%	60%	80%	20%

表格 1 不锈钢产品在主要应用行业的生命周期  
来源：耶鲁大学/国际不锈钢论坛不锈钢项目，2019年

## 碳排放

过去几十年来，二氧化碳一直被认为是我们共同关注的一项社会问题。其直接后果就是，我们建立了新的环境政策，以控制和测算二氧化碳的排放情况。像任何其他行业一样，不锈钢行业也在量化和公布本行业的碳排放绩效。

国际不锈钢论坛近期开展的可持续发展能力研究项目（2007年至2018年）表明，不锈钢生产和使用过程中产生的排放量整体较低。尽管如此，为清晰地量化不锈钢生产过程中的碳排放情况，我们将分析前述定义的范围一、范围二和范围三这三类碳排放。

需要提醒读者注意的是，对于以废钢（循环回收的材料）为基础的生产企业而言，这里提供的排放数据具有高度代表性。对于含镍生铁的生产企业，这里计算的数据仅具有象征性。

### 范围一排放

当前以废钢为原料的生产企业，其平均值为每生产1吨不锈钢产生0.39吨二氧化碳。80%的生产企业的计算结果（正态分布）位于0.20至0.60吨二氧化碳/吨不锈钢之间。

### 范围二排放

当前以废钢为原料的生产企业，其平均值为每生产1吨不锈钢产生0.49吨二氧化碳。93%的生产企业的计算结果（正态分布）位于0.30至0.70吨二氧化碳/吨不锈钢之间。

### 范围三排放

对于范围三排放，不能以同样的方式进行推算。我们目前已知的是，入炉的回收利用率（不锈钢废钢和低合金钢）与范围三的排放量之间存在线性关系。回收利用率越高，范围三的排放量越低。

另外，目前数据仅覆盖废钢（也称为“废钢组

合”）占比40%至90%的情形。最常见的废钢比范围在50%至85%之间，这种废钢组合产生以下范围三排放水平。

- 50%废钢：2.45吨二氧化碳/吨不锈钢
- 75%废钢：1.59吨二氧化碳/吨不锈钢
- 85%废钢：1.25吨二氧化碳/吨不锈钢

当废钢比降至40%以下时，这种线性关系预计不会持续，因为这涉及到普遍采用含镍生铁生产不锈钢的地区。含镍生铁的生产方法产生的排放物，其平均排放值在60至85吨二氧化碳/吨镍之间（不同地区有所不同）。这意味着，如果使用含镍生铁生产含有8%镍的不锈钢，该工艺路线所带来的范围三排放增量（相对于40%废钢组合）的典型值在4.0至6.0吨二氧化碳/吨不锈钢之间。

注意：为进行比对，40%废钢组合加上无镍生铁，带来的范围三排放水平为2.80吨二氧化碳/吨不锈钢。

表2为排放数据摘要表格。

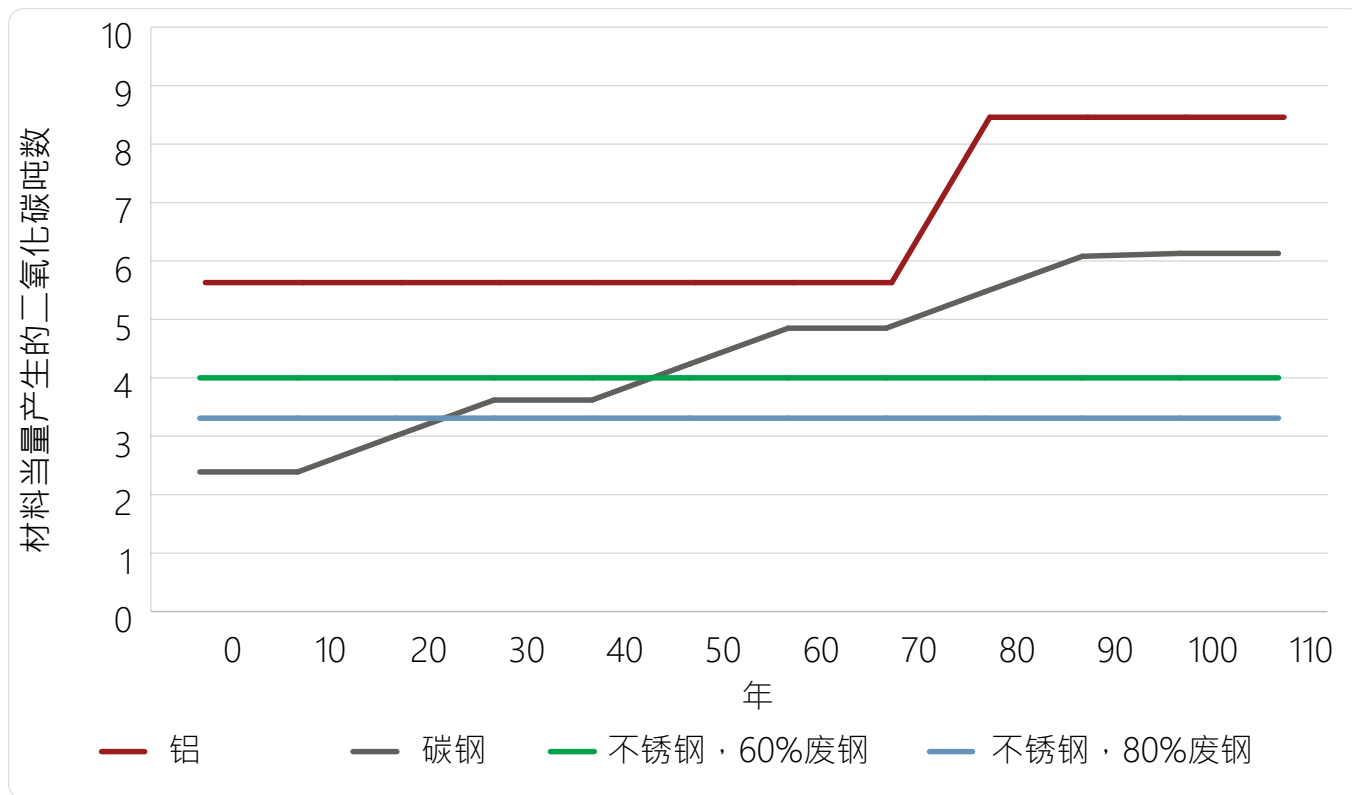


表格 2 不锈钢生产的平均排放情况，按废钢比划分  
这里计算的数据仅作为指示性参考。在计算数据中，因为范围一和范围二的排放数据目前尚未披露，因此这两类数据没有调整。

废钢占比 (%)	含镍生铁占比 (%)	范围一	范围二	范围三	总计	备注
90%		0.39	0.49	1.07	1.95	国际不锈钢论坛会员数据
80%		0.39	0.49	1.42	2.30	国际不锈钢论坛会员数据
70%		0.39	0.49	1.76	2.64	国际不锈钢论坛会员数据
60%		0.39	0.49	2.11	2.99	国际不锈钢论坛会员数据
50%		0.39	0.49	2.45	3.33	国际不锈钢论坛会员数据
40%	30%	0.39	0.49	5.24	6.12	计算数据
30%	35%	0.39	0.49	5.99	6.87	计算数据
20%	41%	0.39	0.49	6.83	7.71	计算数据



图3 使用寿命在110年以上的构造物，其中合金在生产过程中的碳排放情况  
计算数据来自国际不锈钢论坛、世界钢铁协会以及经济合作与发展组织提供的材料排放数据和加工工艺排放数据。



## 使用寿命在110年以上的构造物，其中合金在生产过程中的碳排放情况

图3所示为不锈钢、碳钢以及铝在生产和维护过程中的碳排放情况。这里包括两种类型的出产不锈钢，分别是：使用80%的废钢生产的1类不锈钢和使用60%废钢生产的2类不锈钢。

这些数据包括每生产1吨材料所排放的二氧化碳量（范围一排放+范围二排放+范围三排放），以及常规维护需求所相关的碳排放量。由于为抑制腐蚀而产生的常规维护需求，碳钢的排放量每10年增加1次。不锈钢和铝由于有钝化膜，不会产生常规维护需求，因此这两种材料的排放量不会增加。不锈钢超过110年之后的使用寿命目前未知，因为不锈钢行业目前才存在108年。

碳排放数据以及相关的循环利用数据为行业提供数据。

鉴于铝的密度约为碳钢和不锈钢的三分之一，为反映这一实际情况，铝的数据已经下调。



## 附录：结果摘要

范围一排放		0.39
范围二排放		0.49
范围三排放	85% 废钢占比	1.25
	75% 废钢占比	1.59
	50% 废钢占比	2.45
	30% 废钢占比	5.99*
总碳排放 (吨二氧化碳/吨不锈钢)	85% 废钢占比	2.13
	75% 废钢占比	2.47
	50% 废钢占比	3.33
	30% 废钢占比	6.87*

表格 4 总排放  
2019年数据由国际不锈钢论坛提供 (2021年)  
\* 计算数据



## 参考资料和信息来源

1. Hiroyuki Fujii, Toshiyuki Nagaiwa, Haruhiko Kusuno以及Staffan Malm, 《如何量化不锈钢的环境剖面》。国际不锈钢论坛在环境毒理学与化学协会北美分会第26届年会上的报告, 2005年11月。
2. Julia Pflieger与Harald Florin, 《欧盟不锈钢生产的生命周期清单》。PE国际, 2009年。
3. Pascal Payet-Gaspard, 《不锈钢: 可持续发展与增长》。CRU会议报告, 2009年11月。
4. Barbara Reck与T.E. Graedel, 《不锈钢的综合多级周期——给国际不锈钢论坛和不锈钢团队的2010年最终报告》, 耶鲁大学, 2013年。
5. Barbara Reck, Marine Chambon, Seiji Hashimoto以及T.E. Graedel, 《全球的不锈钢周期证明了中国在金属行业统治地位的崛起》
6. 《生命周期清单/生命周期评价研究: 生命周期清单的开发》。PE国际, 2008年。
7. 《废钢调查》。国际不锈钢论坛, 2008年
8. 《什么让不锈钢变成可持续发展材料》。国际不锈钢论坛, 2009年
9. Jeremiah Johnson, B.K. Reck, T. Wang以及T.E. Graedel, 《不锈钢循环利用上的能源优势》。《能源政策》, 第36卷第1期, 181-192页, 2008年。
10. 《世界钢铁协会研究项目: 世界钢铁协会生命周期清单数据在循环利用情境下的应用》。世界钢铁协会, 2008年
11. 《生命周期评价研究中的钢循环核算》。世界钢铁协会, 2009年
12. 《2021年国际不锈钢论坛不锈钢统计数据》
13. 在计算含镍生铁的生产排放数据时, 使用的是斯卡恩伙伴公司/麦格里在2021年提供的数据
14. 经济合作与发展组织。

**[worldstainless.org](http://worldstainless.org)**