

建筑/土木工程发言稿

第十一章

不锈钢的可持续性

定义

- **温室气体 (GHG)**：二氧化碳当量排放吨/吨钢 ⁽¹⁾
- **全球变暖潜势 (GWP)**：没有对各温室气体 (GHG) 与二氧化碳 ⁽⁷⁾ 在大气中的单位集热能力进行比较。例如，100年期甲烷的 GWP (温室效应潜能值) 是28。炼钢排放的主要温室气体是CO₂。
- 初级能源消耗的GWP值 (吉焦/吨) 被称为能源强度。生产一吨初级材料 (例如钢) ⁽¹⁾ 的能耗
- **总能量需求 (GER)**：生产一种产品需要的总能耗。 ⁽⁸⁾
- **材料效率**：粗钢生产中，没有做永久处理、填埋或焚烧的材料量。 ⁽¹⁾

定义

- **生命周期清单法（LCI）**：是一种结构化的、全面的、国际标准化方法。这种方法将产品整个生命周期中相关的排放、资源消耗，环境及健康影响，以及资源枯竭等因素进行量化。⁽³⁾
- **生命周期成本法（LCC）**：一种评估资产整体成本效益的方法，包括购买、运营、维护及处置成本。⁽⁴⁾
- **生命周期评估法（LCA）**：一种量化辅助方法，也用于评估产品及活动相关的环境负担及影响，包括从地球开采原材料，及生命周期结束时的废物处置。该工具越来越多的被行业、政府与环境机构所使用，用来辅助制定环境战略及材料选择的决策。

定义

安全指标:

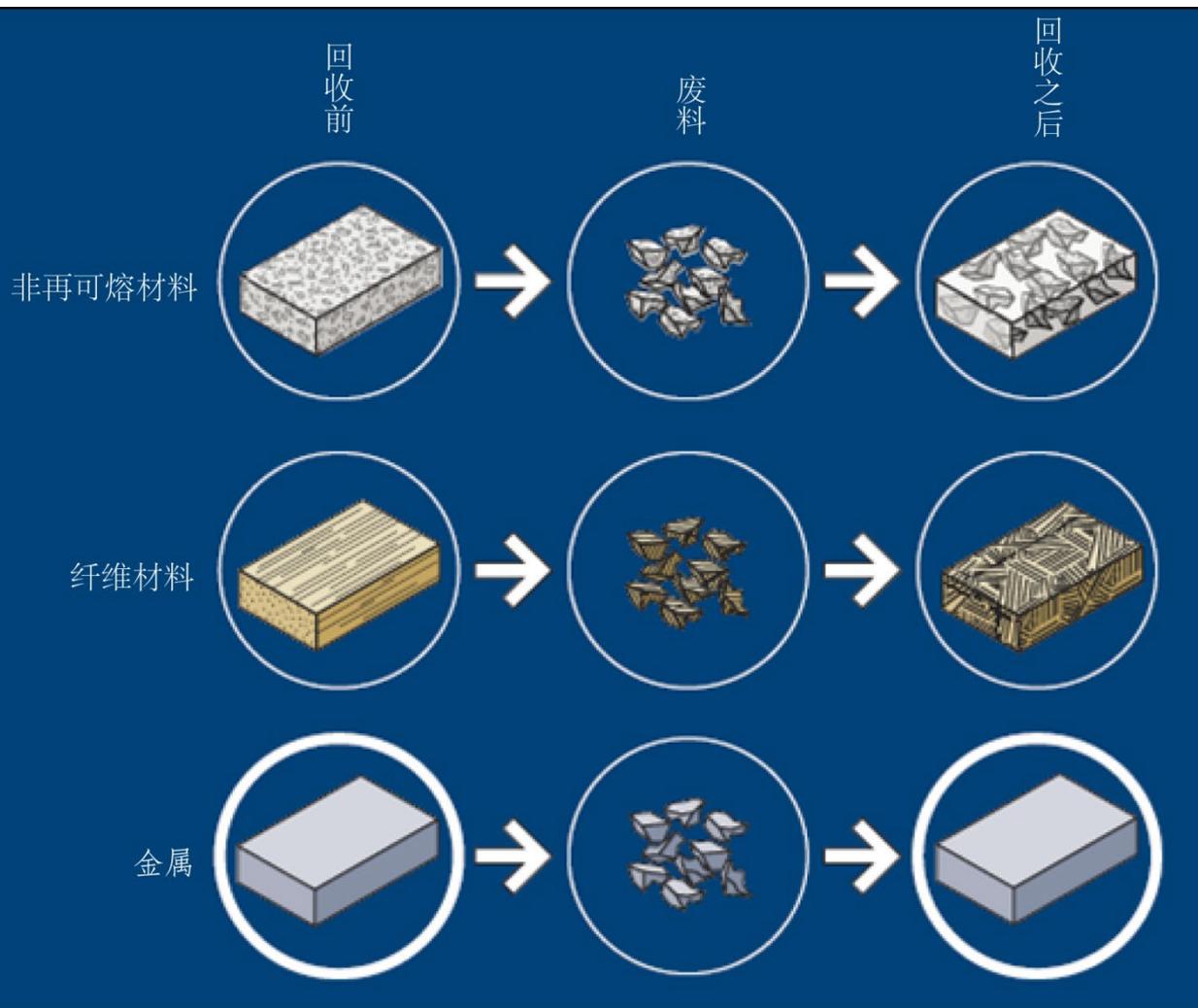
- **失时工伤:** 失时工伤率是指每百万工时的失时工伤数量 ⁽¹⁾

循环指标:

- **循环率**是指有多少报废 (EOL) 材料被回收, 并进入再利用缓解 (而非被垃圾掩埋)。 ⁽⁵⁾
- **再生成分比例的定义是,** 产品中在消费者使用前后的再生材料重量占整体重量的比例。 ⁽⁶⁾
- **固废负担 (SWB):** 包括矿废、尾矿、矿渣及电厂粉煤灰

指标点评：

循环指标没有考虑“下循环”



金属在质量不损失前提下可以循环利用。

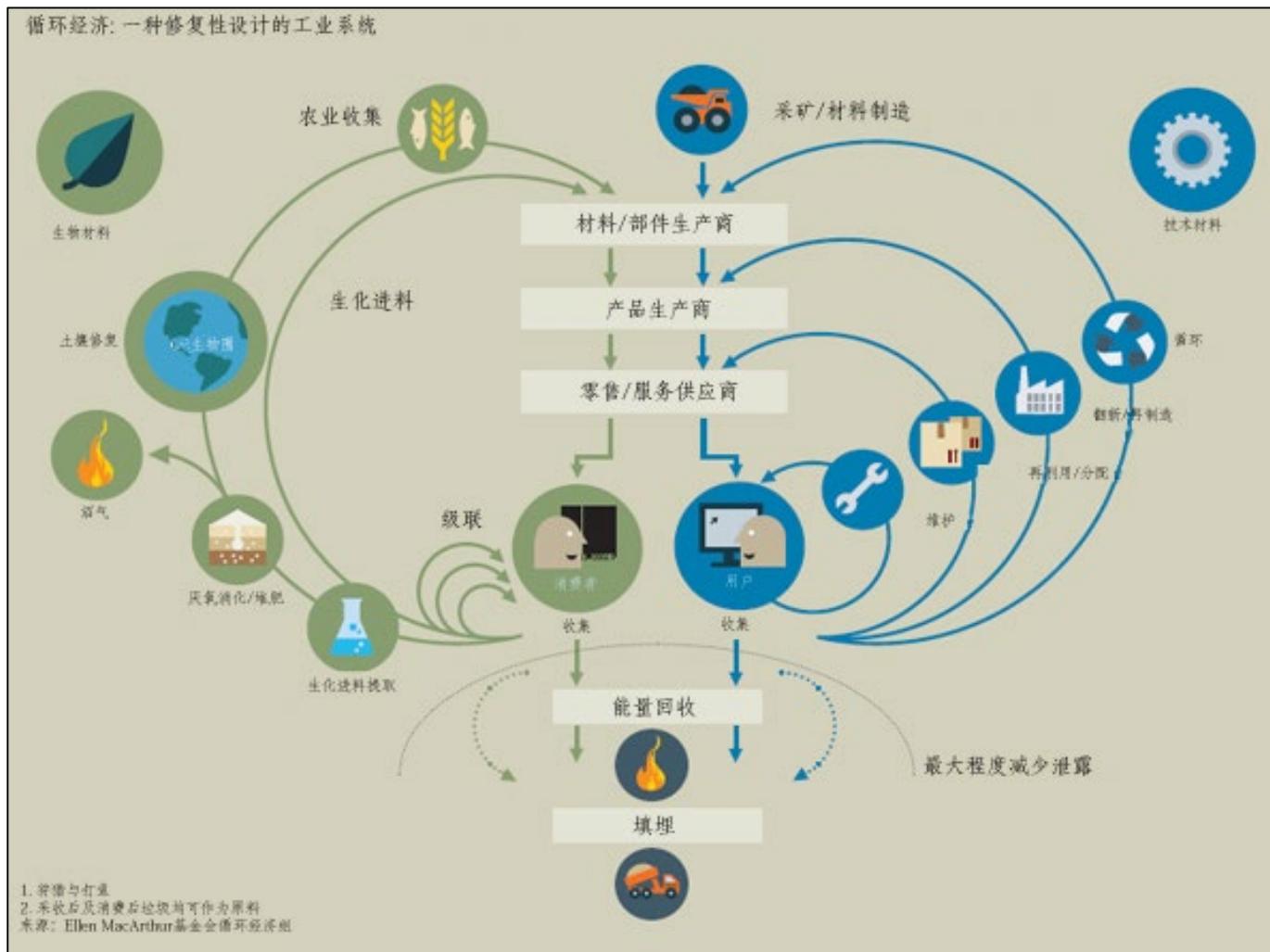
由于金属键在重新固化后得以修复，因此金属原有的性能会得以恢复，即便经过几次循环周期之后。这使得金属在同样应用中可以不断被使用。

相比之下，大多非金属材料的性能在循环之后都有退化。⁽⁴⁵⁾

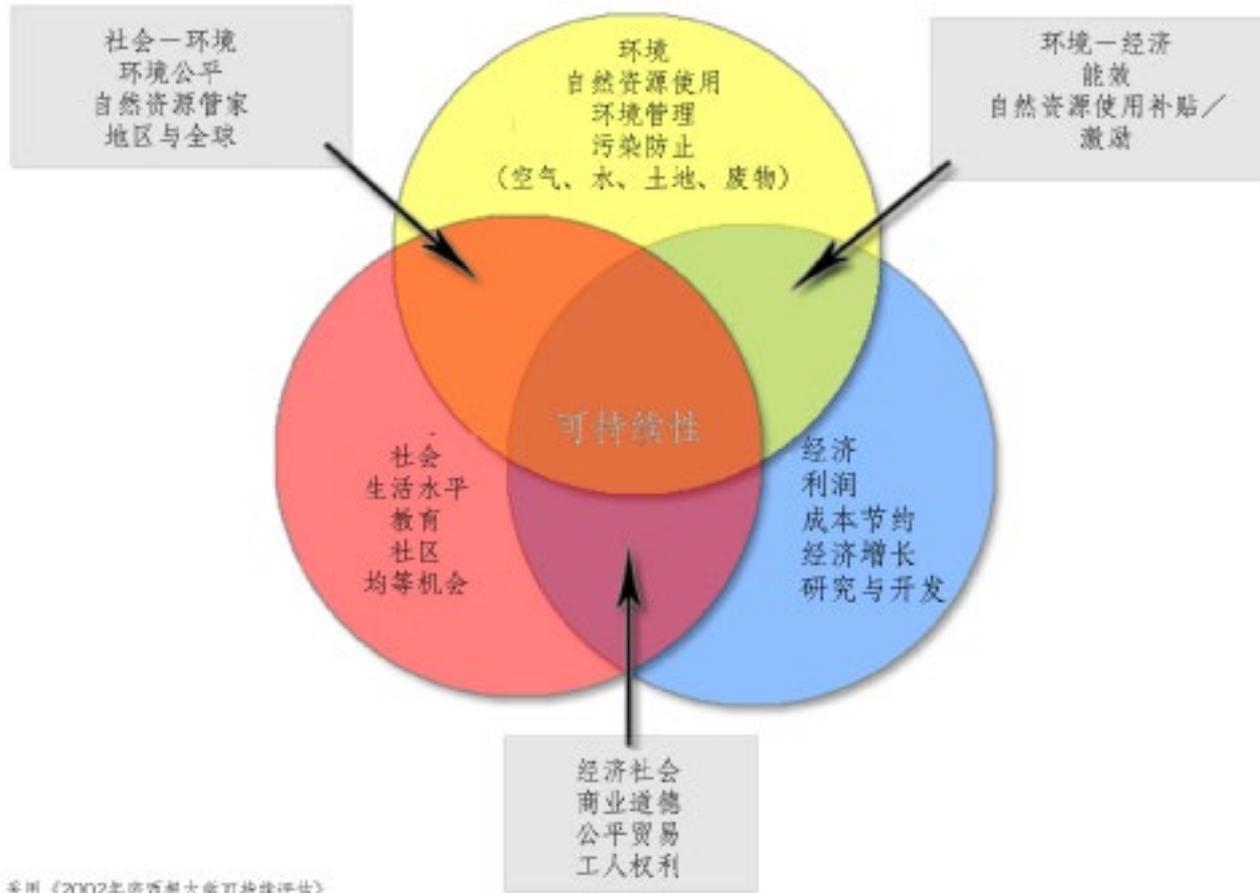
下循环比废料好，但相对于循环经济来说，还需改进

(46, 47)

回收报废金属制造新金属制品是最短的回收线路



循环经济就是资源循环的闭环连接，模拟我们组织社会生产的自然生态系统。



可持续性

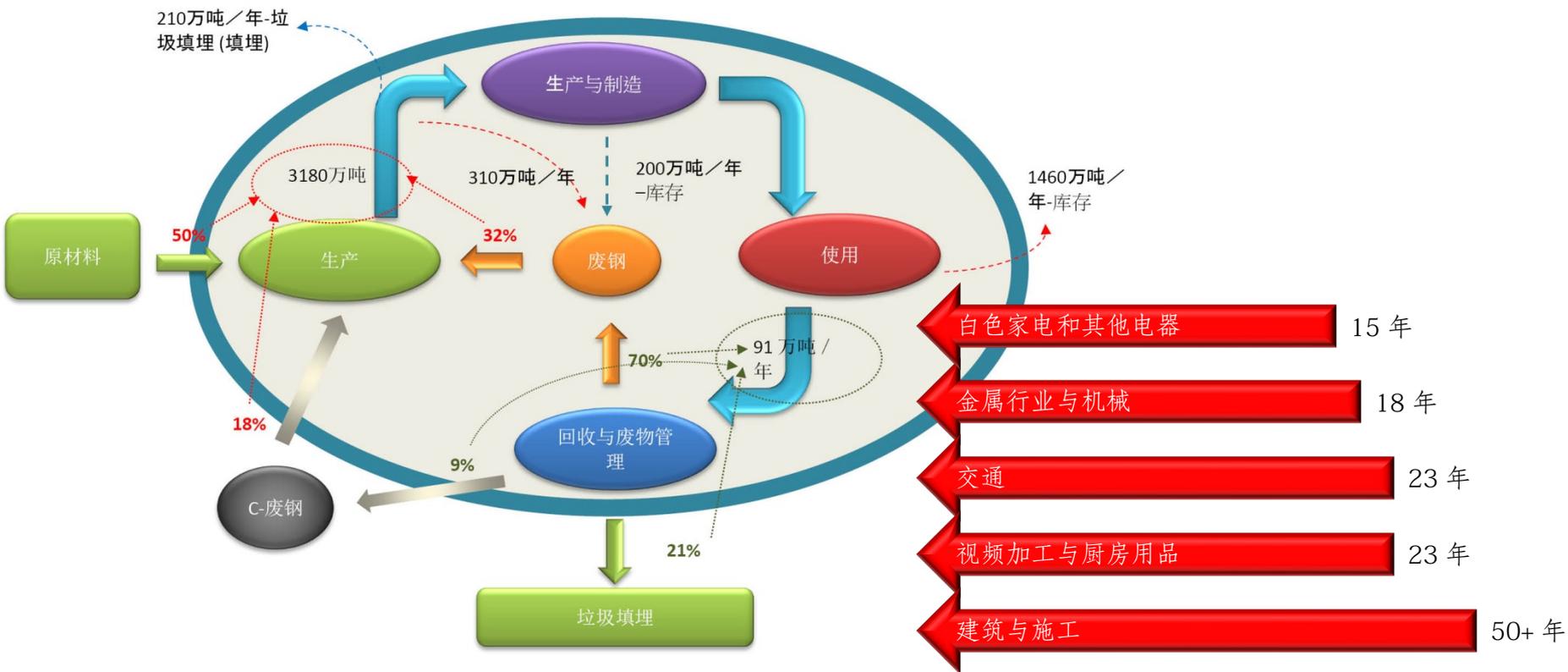
“可持续性关注的产品的整个周期，从原材料采集，规划、设计、建设和运营，到最终报废及废物管理”。 (Rossi, B. 2012)⁹

不锈钢的可持续性：

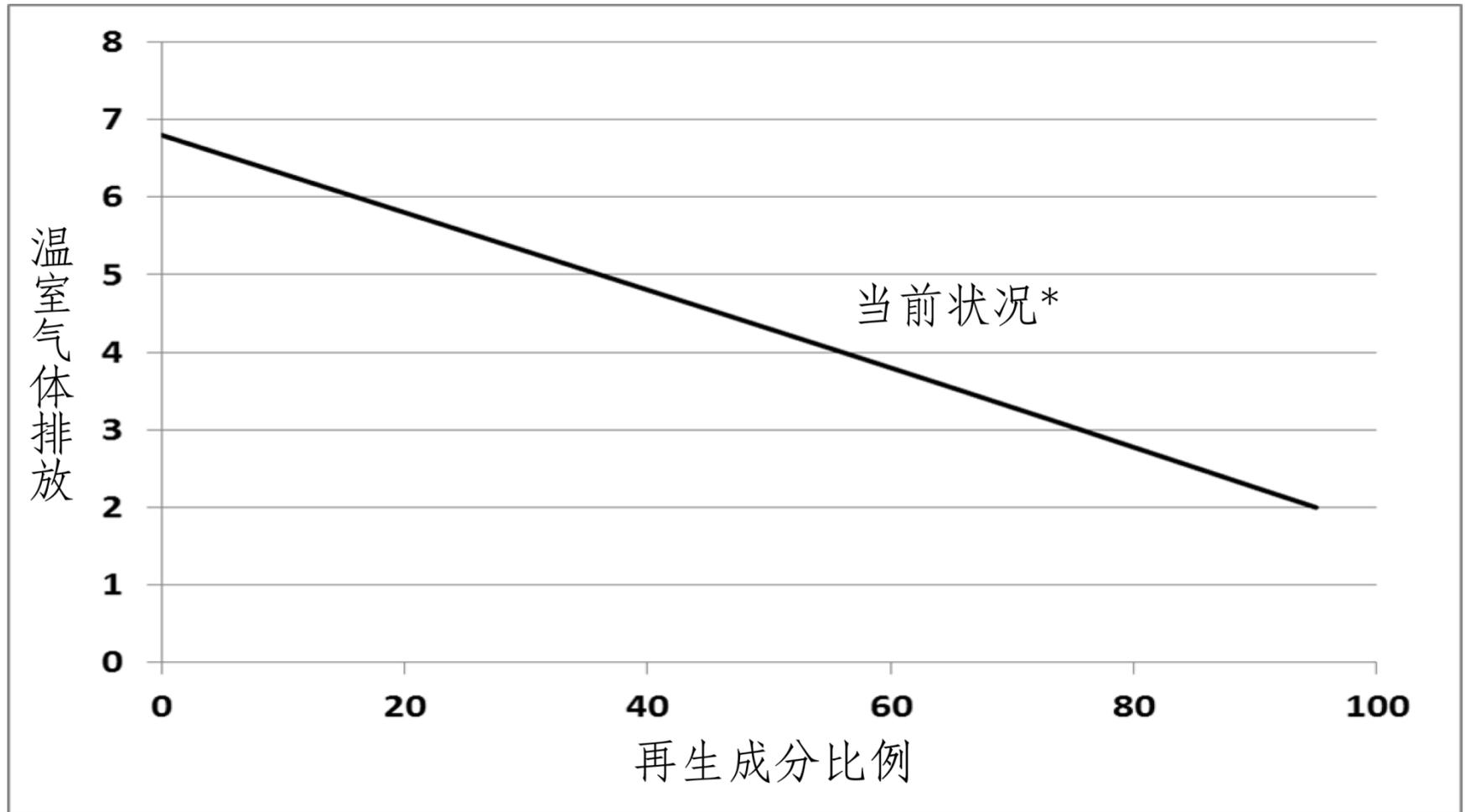
1. 环境
2. 社会
3. 经济

1. 环境

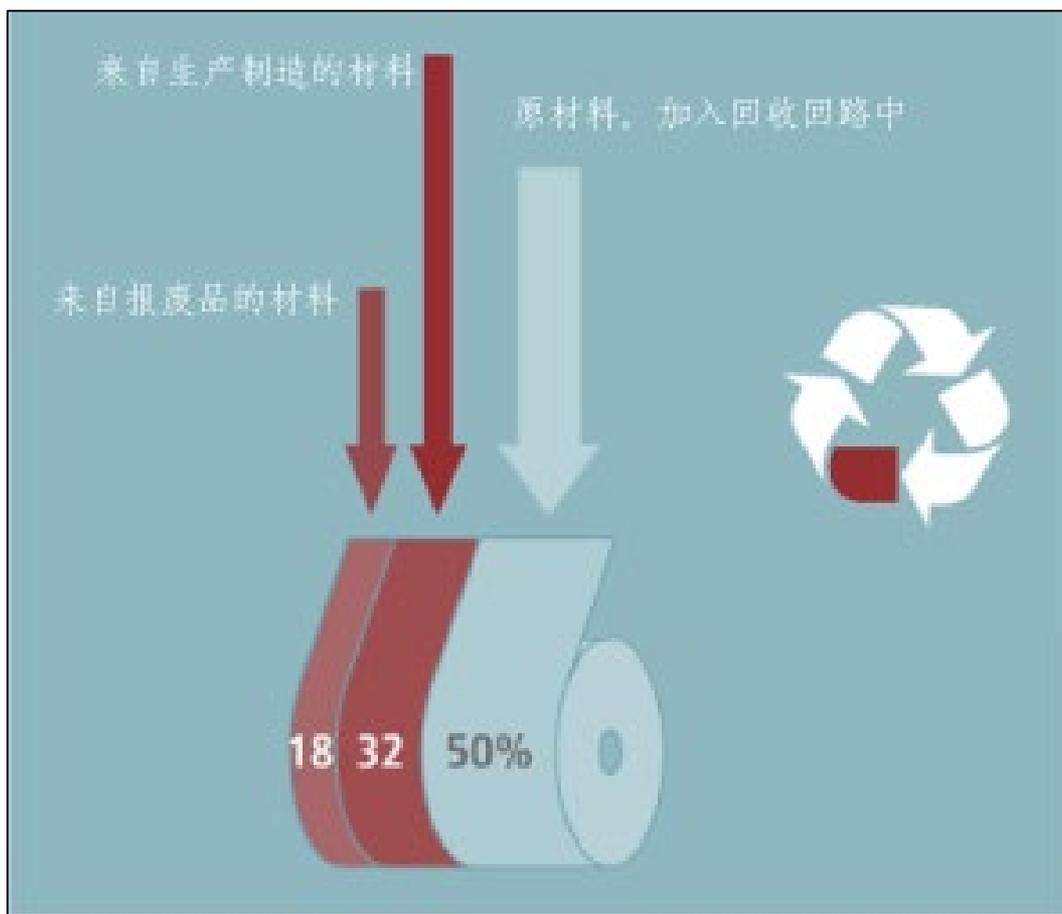
生产 ⇨ 使用 ⇨ 回收



温室气体排放与再生成分比例 11, 12, 13, 14



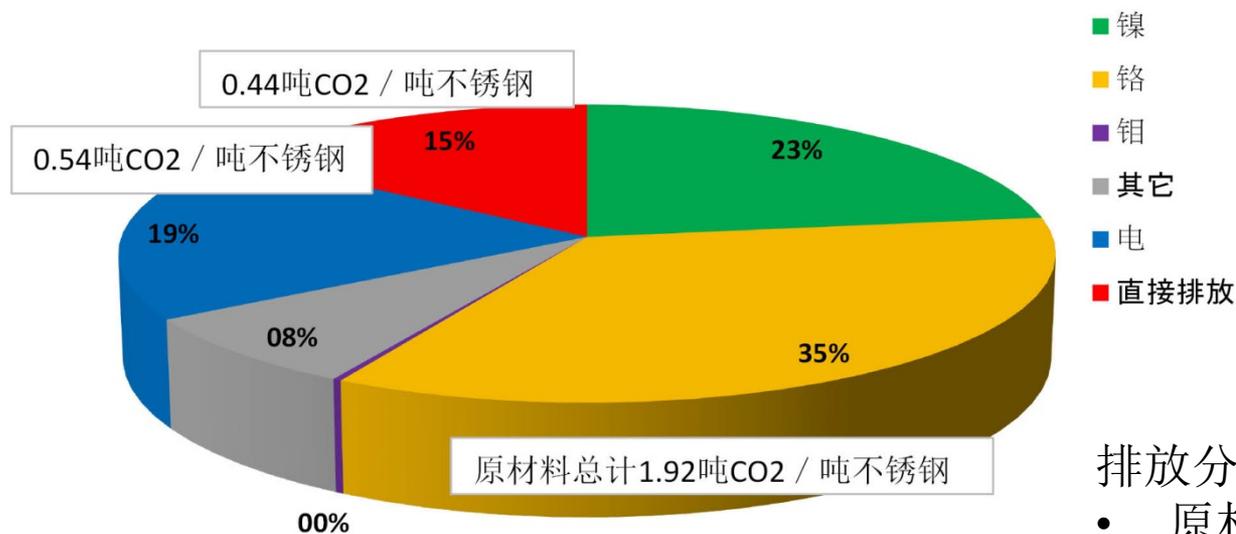
* 再生成分比例受到可用废钢的限制



不锈钢再生成分比例

不锈钢的温室气体排放 (15)

3.81 吨CO₂/ 每吨不锈钢 (16)



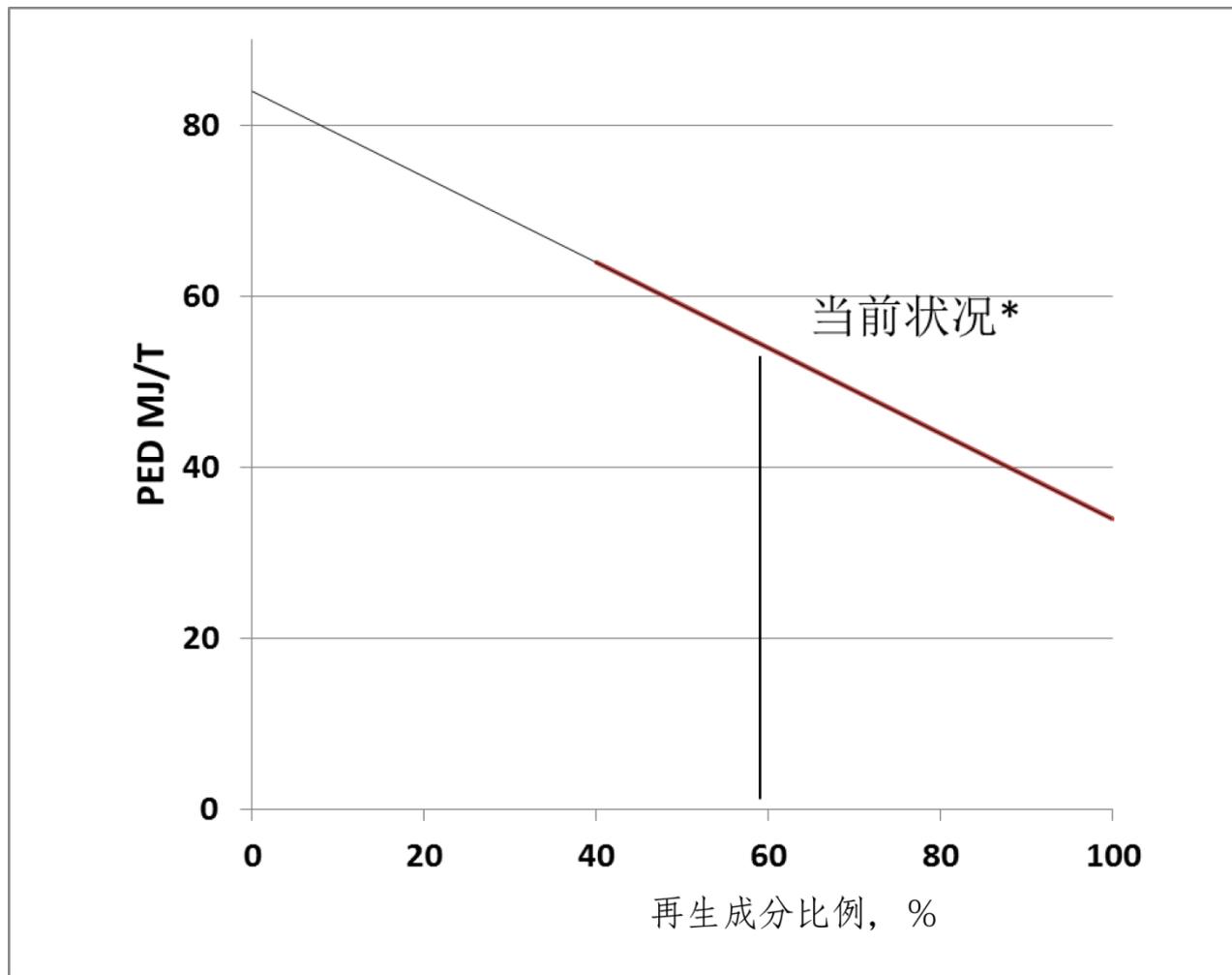
排放分解为:

- 原材料: 70 %
- 发电: 17 %
- 炼钢: 9%

(17)

注: 没有考虑镍生铁生产的镍的路线, 因为镍的数据可能要高三倍。
中国是目前唯一使用镍生铁的国家。

一次能源需求 18



** 再生成分比例受到可用废钢的限制

金属生产从“摇篮到大门”的环境影响

金属	工艺	GER (MJ/kg)	GWP (kg CO _{2e} /kg)	AP (kg SO _{2e} /kg)	SWB (kg/kg)
不锈钢	电炉和氩氧脱碳	75	6.8	0.051	6.4
钢铁	一体化方案（高炉与转炉）	23	2.3	0.020	2.4
铝	拜耳精炼，霍尔 赫劳尔特 电解炼铝法	361	35.7	0.230	16.9
铜	冶炼 / 转换和电精炼	33	3.3	0.040	64
	堆浸SX/EW	64	6.2	—	125

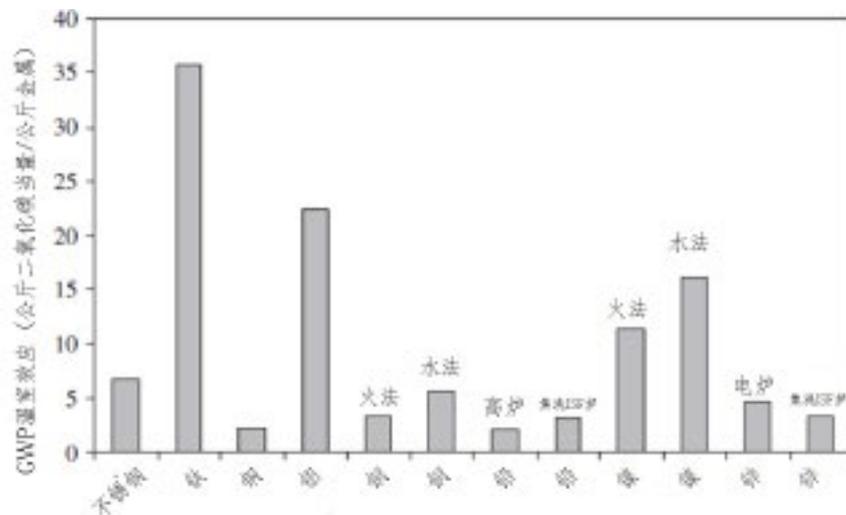
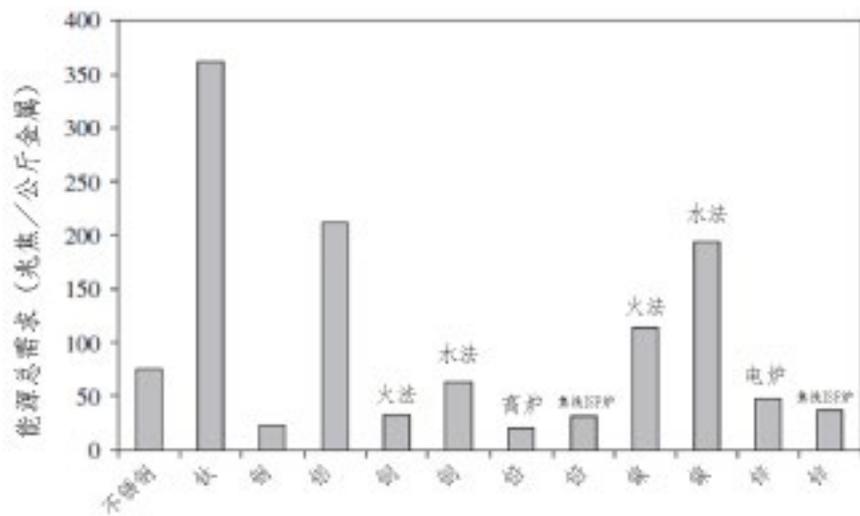
GER: 总能量需求
潜在AP: 酸化潜力

GWP: 全球变暖
SWB: 固废负担

金属生产全周期“从摇篮到大门”的环境影响²⁰

各种金属从“摇篮到大门”的整体能源需求量

没有循环利用



在提供类似功能和服务的前提下，各种金属的用量并不相同²¹

例如：

三种不同的墙饰面对环境的潜在影响。

材料	PED (MJ/m ²)	GWP (Kg CO ₂ -eq. /m ²)	报废(EOL)
高压板，如“千思”牌	759.3	23.9	50% 再循环+ 50% 填埋
一般粉刷	144.2	12.7	不能循环
不锈钢0.5mm	140.5	7.2	RR = 95%
不锈钢 0.8 mm	191.7	11.3	RR = 95%

材料效率



减少：

40%的不锈钢原材料用量，从而减少排放

再利用：

不锈钢的耐久性使其再利用非常重要。

例如：瓶子，马克杯，杯子，吸管……





案例：再利用²²

不锈钢板使用50年后，会变脏并有划痕。在大堂翻修的过程中，不锈钢板被查下来清理、表面进行了再处理，被重新利用起来。

材料效率



再循环：

不锈钢可以被100%再循环，82%的回收废钢被再利用。

“零”浪费的不锈钢生产 ⇨

炼钢的主要副产品和废物是钢渣和粉尘。例如：钢渣可以制成沥青用于道路建设。

不锈钢产品在报废时，大部分可以被循环利用²³⁻²⁵

主要应用领域	不锈钢产品在制造业的应用	平均寿命 (按年计)	用于掩埋	回收利用	
				合计	作为不锈钢
建筑	16%	50	8%	92%	95%
交通	21%	14	13%	87%	85%
工业机械	31%	25	8%	92%	95%
家用电器	6%	15	18%	82%	95%
电子产品	6%	-	40%	60%	95%
金属制品	20%	15	40%	60%	80%
合计:	100%	22	18%	82%	90%

由于工艺的改进和在线X荧光分析法，废钢的回收和分类得到了改进。建筑设计对回收率有很大的影响。

LEED* 和不锈钢的LCI 数据

- 2013年，美国绿色建筑委员会发布了第四版的“*能源和环境设计领导力认证”（LEED v4）
 - 新版本中的变化有利于不锈钢：
 - 更多强调了服务期
 - 对VOC**的排放要求更加严格（对某些材料来说问题很大，例如塑料）
- （负责管理美国建筑和性能的）美国总务管理局最近批准了LEED的使用
 - 对新建筑或翻新建筑，美国联邦和州政府越来越多地要求其具备LEED或其他类似认证。

** VOC：挥发性有机化合物：不锈钢在加工和生产中有很少量的VOC排放（目前没有具体数据），在使用过程中VOC排放为零



使用不锈钢的可持续性建筑 - The David L. Lawrence 会议中心，匹茨堡（2003）²⁶

不锈钢屋顶：

- 使用了S30400号钢
- 尺寸：280 × 96米
- 护套使用了 23,000平米的0.6mm（24-gauge）钢，重量为 136吨。

使用不锈钢的可持续I建筑： LEED 金牌认证

LEED（能源与环境设计领导力认证） 金牌认证认可了：

- 该中心的棕地在开发
- 容纳了其他交通方式
- 减少用水
- 高能效
- 使用了无毒性排放，或排放量很低的材料
- 设计创新



可持续性的不锈钢土建工程： Progreso 码头 ²⁷

墨西哥的Progreso码头修建于1970年，周边的海洋环境不断腐蚀碳钢棒，最终建筑结构实效。



可持续性的不锈钢土建工程： Progreso 码头

相邻的码头修建于1937年~1941年，使用不锈钢进行了加固。



可持续性的不锈钢土建工程：
Progreso 码头

自那之后无需维护，一致保持原始状态。

2. 社会

可持续性材料不会伤害从事该材料生产的人，或者在其使用、回收和最终报废处置的过程中的操作人员。

- 不锈钢在其生产使用环节都不会对人造成伤害。正因如此，不锈钢成为医疗、食物、加工、家居及餐饮设备中使用的主要原材料。
- 不锈钢行业的首要任务是保证零伤害及工作场所员工的健康。
- 通过技术进步，不锈钢可以改进生活质量。例如，如果没有不锈钢，给我提供清洁饮用水、食物和医药的设施就不可能会如此卫生、高效。

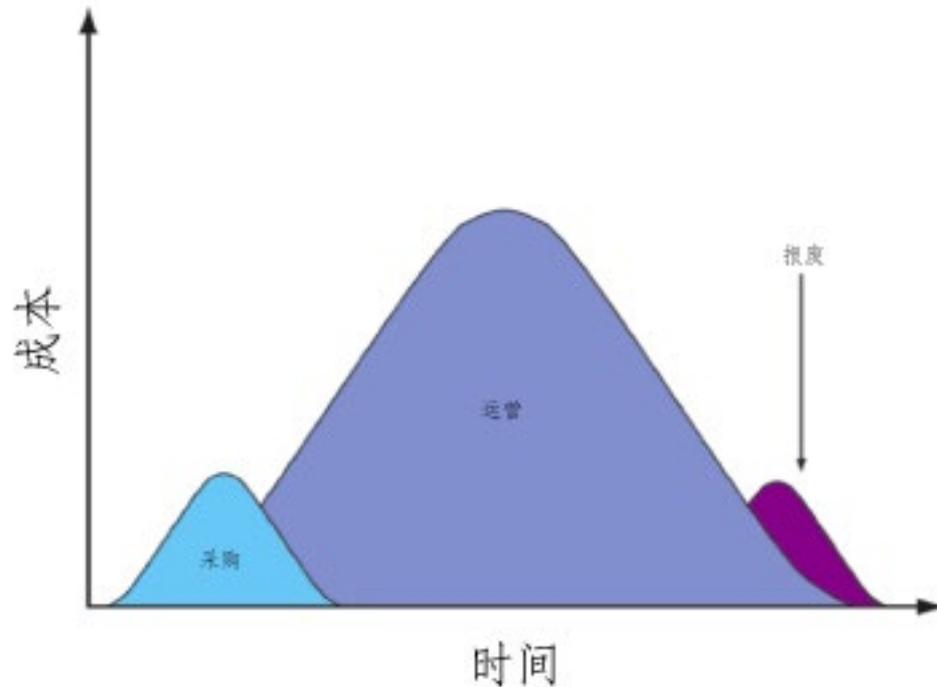
3. 经济



生命周期成本法 (LCC) 30

- LCC是指，在完成其性能要求的前提下，某资产整个生命周期的成本。（ISO 15686-5）.
- LCC 是指某产品整个生命周期所有的相关的成本：

概念设计 ⇨ 加工生产 ⇨ 运营 ⇨ 报废



来源：生命周期成本法。欧洲委员会

生命周期成本法 (LCC)

LCC是一种辅助投资决策，或比较不同投资方案的算法

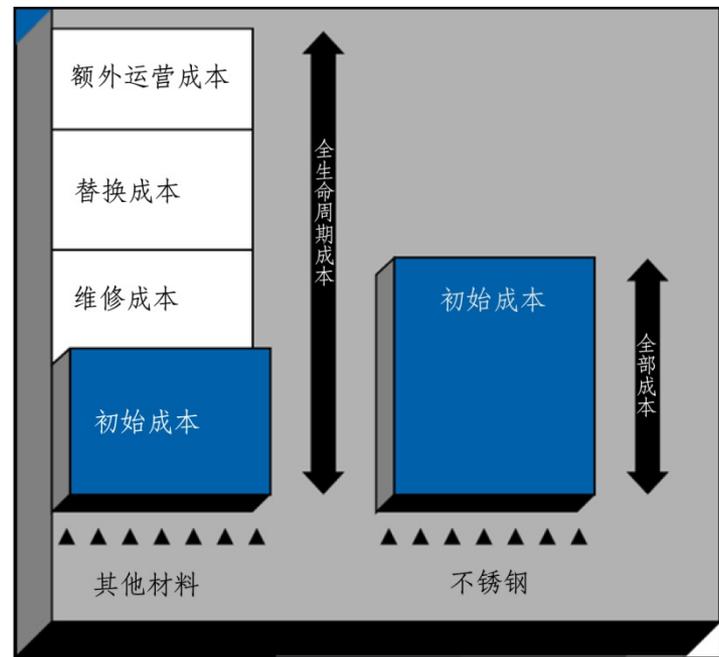
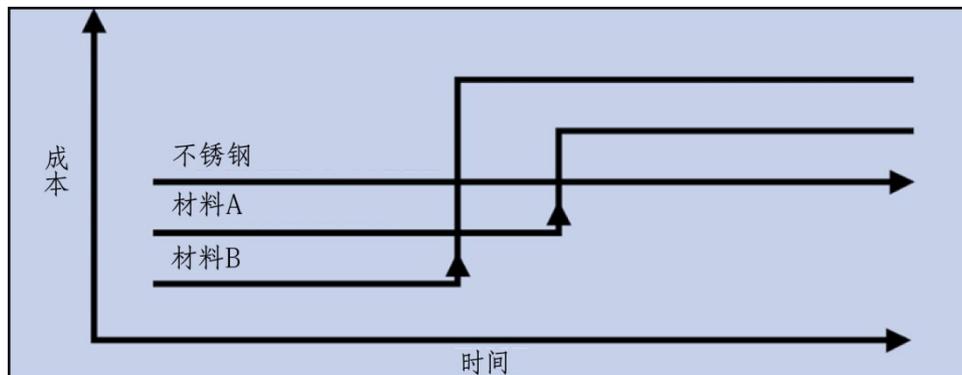
所有成本在叠加之前的当前价值：

生命周期总成本 (LCC)	初始材料采购成本 (AC)	初始材料安装与制造成本 (IC)	运营与维护成本 (OC)	停用期的生产成本损失 (LP)	材料替换成本 (RC)
LCC	= AC	+ IC	+ $\sum_{n=1}^N \frac{OC}{(1+i)^n}$	+ $\sum_{n=1}^N \frac{LP}{(1+i)^n}$	+ $\sum_{n=1}^N \frac{RC}{(1+i)^n}$

哪里: N=理想的服务寿命 i=实际利率 n=事件年

如果考虑生命周期总成本的话，不锈钢并不昂贵 31

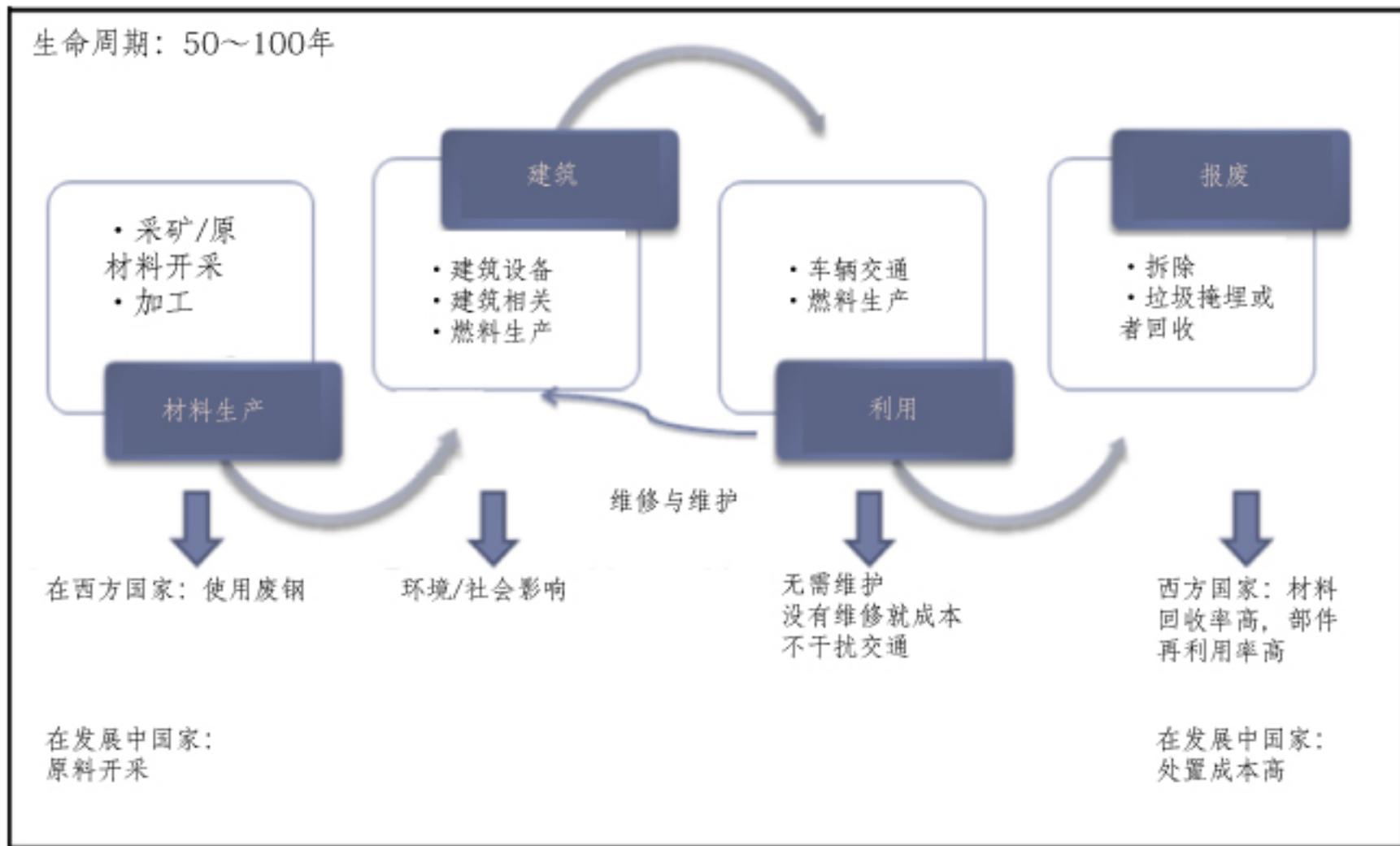
其他材料的成本随时间推移会大幅增长，但不锈钢的成本保持不变。



“每年金属腐蚀会消耗美国经济3000亿美元。据估计，使用目前最好的技术可以节约1/3的成本（1000亿美元）的成本。要从设计开始，包括选择不锈钢等抗腐蚀性材料，并勇生命周期成本法对初始及未来成本进行量化，例如维护成本。”

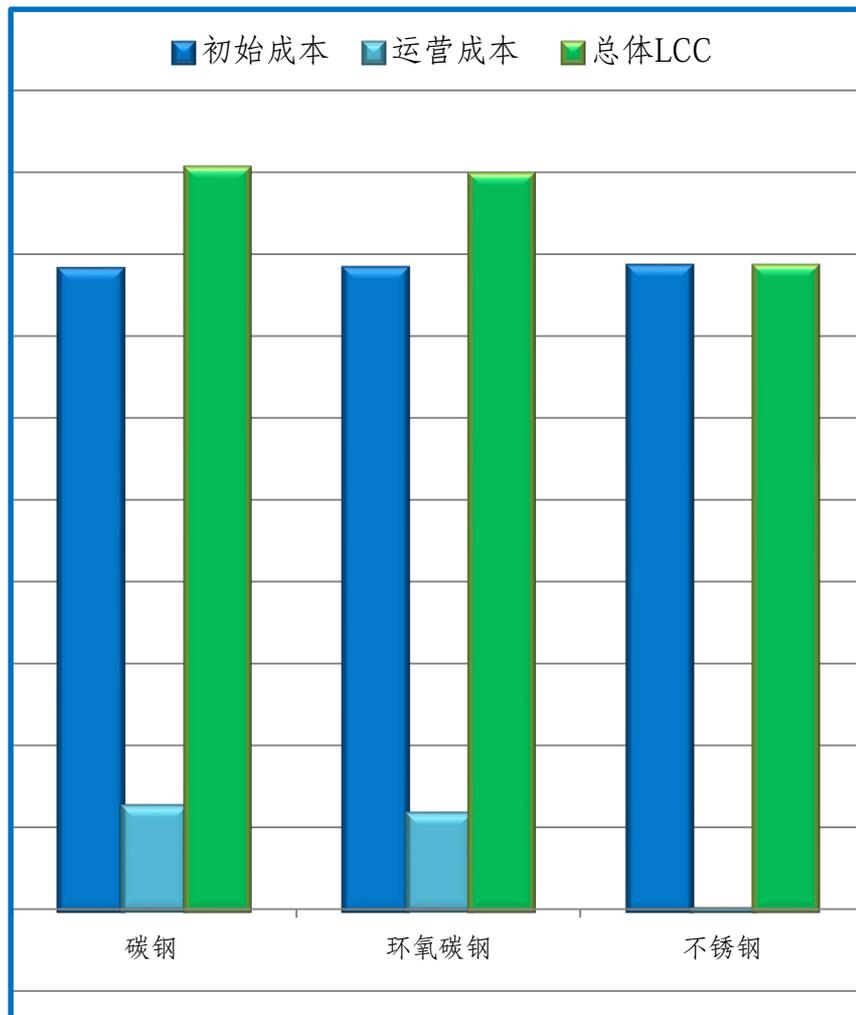
LCC 案例：桥梁

举例说明全球各地不锈钢桥的生命周期各阶段及其对环境的影响



LCC 案例：桥梁

一条穿越公路桥的河流的生命周期成本汇总 ³²



描述	碳钢	环氧碳钢	不锈钢
材料成本	8,197	31,420	88,646
制造成本	0	0	0
其他安装成本	15,611,354	15,611,345	15,611,354
初始成本	15,619,551	15,642,774	15,700,000
维护	0	0	0
替换	256,239	76,872	-141
生产损失	2,218,524	2,218,524	0
材料相关	0	0	0
运营成本	2,247,763	2,295,396	-141
合计LCC	18,094,314	17,937,170	15,699,859

LCC 案例：屋面

屋顶的生命周期成本 ^{33, 34, 35}



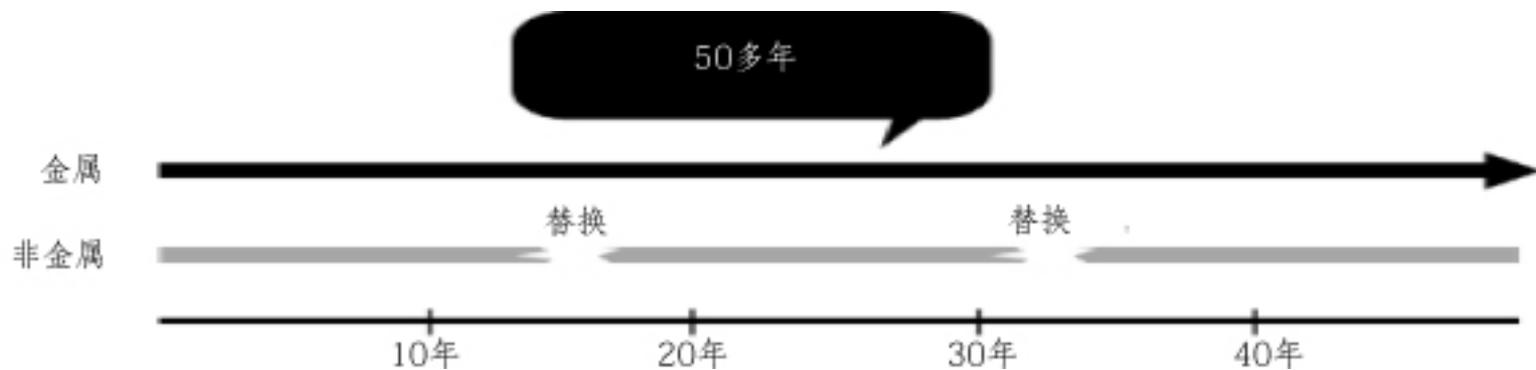
传统的屋面系统，~30 年



金属屋面系统，40-50 年

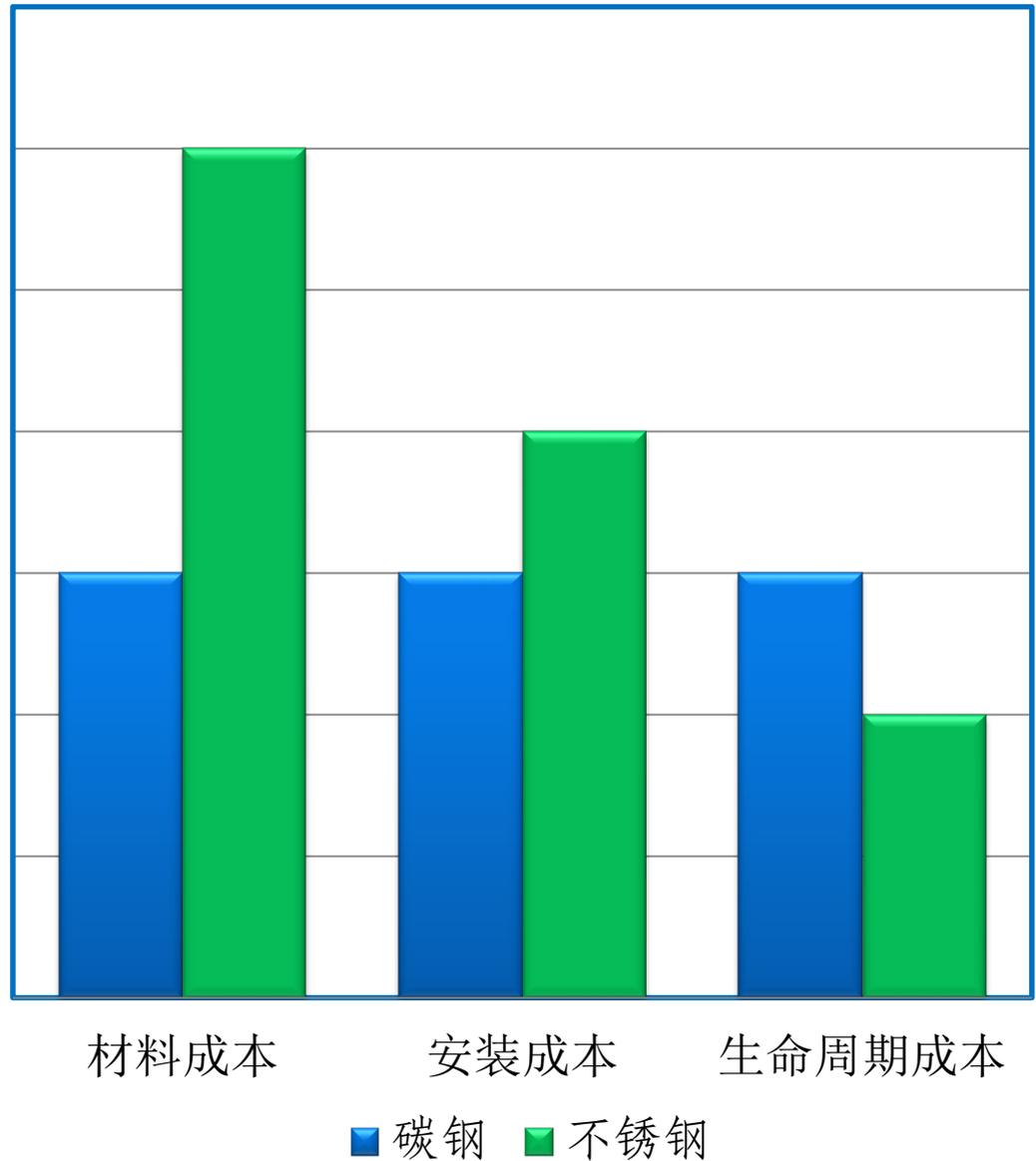


不锈钢屋面系统，超过50 年



LCC 案例：屋面

对0.6毫米镀锌碳钢和0.4毫米1.4401不锈钢的成本进行比较：不锈钢独特的力学性能可将材料厚度减少到0.5或0.5毫米，因此可以减轻材料重量（0.7毫米涂层碳钢的重量为3.2公斤 / 米²）。涂层碳钢的生命周期为15到20年，而不锈钢屋面的服务寿命一般就是建筑本身的生命期。



持久永恒的不锈钢建筑⁴³



Savoy 酒店，伦敦，1929



美国帝国大厦，纽约，1931



克莱斯勒大厦，纽约，1930



新加坡螺旋桥，2011



双子星塔，吉隆坡



云门“果冻豆”芝加哥，2008

生命周期成本比较 36, 37, 38, 39, 40

建筑	完工时间	材料	高度	维护
埃菲尔铁塔— —巴黎 	1889 	锻铁	324m	每七年维修一次。每次喷涂工作会持续1年半（15个月）的时间，耗费50~60吨涂料，25个喷涂工人，1500个刷子，5000张沙盘，以及1500套工装。
克莱斯勒大楼 （屋面和入口） — 纽约 	1930 （屋顶 1929） 	奥体钢 (302)	319m	分别在1951和1961维修了一次。1961的清洁方法未知。1995年使用了温和的清洁剂、脱脂剂，并进行了打磨。

为什么不锈钢是“绿色”材料？

不锈钢环境评估⁴¹

再生成分比例是多少？	60%
是否可以100%回收？	是的
是否可以提供较长生命周期？	是的（减少维护和处置频率）
是否有可再生成分？	有（包括后消费者和后工业）
是否建筑废料可以不完全垃圾掩埋？	是的（高价值的废钢和更高的产品再利用的潜力）
是否在翻新时可以回收再利用？	可以
是否为低排放材料？	是的（无涂层=零排放）
是否有助于改进室内空气质量？	是的（没有挥发性有机化合物VOC，除菌，耐腐蚀管道）
是否有助于避免使用有毒材料？	是的（可长期抗白蚁，屋面径流最小）
可否节能？	可以（这样，屋顶）
是否有助于生产清洁能源？	是的（太阳能板，电厂除尘器）
是否节约水？	是的（抗腐蚀、抗震水管和水塔）
反光板是否能增强自然光？	可以
是否能延长其他材料的寿命？	是的（石头和砌体锚，木材或长寿命金属紧固件）

结论

- 对不锈钢行业的未来而言，可持续发展是一个重大的挑战。目前正在努力通过改进其循环利用及工艺流程来降低其碳足迹。
- 在设计阶段的决策过程中应该考虑不锈钢的多种性能：
 - 机械性能
 - 抗腐蚀性能
 - 耐火性
 - 循环利用
 - 长生命周期
 - 较低为维护成本
 - 中性且卫生
 - 美学性能
 - 不会与雨水发生反应

参考资料与来源

1. <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:a5cd469c-89cb-4d57-9ad8-13a0d86d65f0/Sustainability+indicator+definitions+and+relevance.pdf>
2. <http://ghginstitute.org/2010/06/28/what-is-a-global-warming-potential/>
3. <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>
4. <https://www.gsa.gov/portal/content/101197>
5. Recycled content is defined in accordance with the ISO Standard 14021 -Environmental labels and declarations - Self declared environmental claims (Type II environmental labeling).
6. <http://www.greenspec.co.uk/building-design/recycled-content/>
7. <http://www.fao.org/docrep/u2246e/u2246e02.htm>
8. B. Rossi. Stainless steel in structures: Fourth International Structural Stainless Steel Experts Seminar. Ascot, UK. 6-7 December 2012.
9. Source: Yale University/ISSF Stainless Steel Project, 2013
10. B. Rossi. ArcelorMittal International Scientific Network in Steel Construction Sustainability Workshop and Third Plenary Meeting, Bruxelles, 2010.
11. B. Rossi. Stainless steel in structures: Fourth International Structural Stainless Steel Experts Seminar. Ascot, UK. 6-7 December 2012.
13. T.E. Norgate, S. Jahanshahi, W.J. Rankin. Assessing the environmental impact of metal production processes. Journal of Cleaner Production 15 (2007), 838-848.
14. <http://www.worldstainless.org/Files/issf/Animations/Recycling/flash.html>

参考资料与来源

15. ISSF [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF Stainless Steel and CO2.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF%20Stainless%20Steel%20and%20CO2.pdf). Data from European and Japanese ISSF members
16. Based on 2013 data, including 60% scrap content (and therefore 40% new materials) and energy contribution to GHG
17. Data provided by ISSF, estimates calculated by SCM. Includes 60% recycled content
18. ISSF www.worldstainless.org. Data from European and Japanese ISSF members
19. T.E. Norgate, S. Jahanshahi, W.J. Rankin. Assessing the environmental impact of metal production processes. *Journal of Cleaner Production* 15 (2007), 838–848.
20. T.E. Norgate, S. Jahanshahi, W.J. Rankin. Assessing the environmental impact of metal production processes. *Journal of Cleaner Production* 15 (2007), 838–848.
21. B. Rossi. Stainless steel in structures: Fourth International Structural Stainless Steel Experts Seminar. Ascot, UK. 6–7 December 2012.
22. C. Houska. Sustainable Stainless Steel Architectural.
23. <http://www.worldstainless.org/Files/issf/Animations/Recycling/flash.html>
24. <https://www.drkarenslee.com/comparing-reusable-bottles-stainless-steel-glass-plastic/>
25. Yale University/ISSF Stainless Steel Project, 2013
26. The Greening of a Convention Centre. *Nickel*, Volume 23, Number 3, June 2008, 6–9.
27. <https://www.nickelinstitute.org/Sustainability/LifeCycleManagement/LifeCycleAssessments/LCAPProgress/Pier.aspx>
28. International Stainless Steel Forum www.worldstainless.org
29. World Steel Association
30. A. Dusart, H. El-Deeb, N. Jaouhari, D. Ka, L. Ruf. Final Report ISSF Workshop. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2011.

参考资料与来源

31. http://www.ssina.com/download_a_file/lifecycle.pdf
32. <https://www.nickelinstitute.org/nickel-magazine/nickel-magazine-vol-31-no1-2016/>
33. www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/RoofingTech_EN.pdf
34. <http://www.ametalsystems.com/RoofLifecycleCostComparison.aspx>
35. <http://www.metalroofing.com/v2/content/guide/costs/life-cycle-costs.cfm>
36. <https://www.toureiffel.paris/en>
37. https://en.wikipedia.org/wiki/Eiffel_Tower
38. <http://corrosion-doctors.org/Landmarks/Eiffel.htm>
39. http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Building#
40. Nickel Development Institute. Timeless Stainless Architecture. Reference Book Series No 11 023, 2001
41. C. Houska. Sustainable Stainless Steel Architectural. Construction Canada, September 2008, 58-72.
42. Nickel Development Institute. Timeless Stainless Architecture. Reference Book Series No 11 023, 2001
43. G. Gedge. Structural uses of stainless steel — buildings and civil engineering. Journal of Constructional Steel Research 64 (2008), 1194 - 1198.
44. <http://www.metalsforbuildings.eu/>
45. <http://www.circle-economy.com/circular-economy/>
46. <http://www.irishenvironment.com/iepedia/circular-economy/>

谢谢！

附录

其他材料的循环利用

这是一个复杂问题
本附录旨在对其他材料进行简单描述，
以更好进行比较
资料来源已标明

循环利用更多信息：水泥与混凝土

www.wbcserver.org/wbcserver/publications/cd_files/datas/business-solutions/cement/pdf/CSI-RecyclingConcrete-FullReport.pdf

- 压碎混凝土中最多有20%可用于生产新混凝土。
 - 仅作为骨料，而非水泥
 - 这种方法生产的混凝土质量低下，不是所有应用都能用。
- 似乎大多混凝土在拆除后被用于路基或垃圾掩埋（目前没有详细数据）
- 与就地取材的骨料相比，混凝土回收的主要工作是旧混凝土压碎和运输
- 总体上，混凝土的循环会设计所有的下游循环。
- 混凝土制砖在今天仅仅是边际应用，这是无需下游循环的再利用最短途径。然而实施起来很难！

更多回收信息：塑料

<http://www-eng. eng. cam. ac. uk/ impee/?section=topics&topic=RecyclePlastics&page=materials>

- 自产废料（产自生产地点）已经被100% 回收利用了
- 废旧塑料回收利用是一个大问题：
 - 废料收集耗时且昂贵
 - 混合塑料废料的分类很困难——无法不免污染。
 - 除去标签，印标，也不能实现100%全部去除
 - 任何污染都会影响该材料被再利用于“高科技”应用中
 - => 再生塑料（除了自产废料）一般都会被再利用到低级别应用中（即下游循环），例如PET用于廉价地毯、羊毛；PE和PP用于块板和公园长椅。
 - => 和/或者最终隔壁焚烧，更差的是被掩埋，更糟糕的是丢弃到海洋上漂浮着。

有关循环的更多信息：木材（来自 ABC*）

- 循环的最好方式是再利用。但是木材或其他木制品的旧品收集、再处理和再制造需要很多工作。到底有多少被再利用并不清楚。
- 越来越多的未经处理的木材和木头得到重新利用：土地和园艺产品，动物床上用品或马术赛场地面。
- 经过处理的木材或木头（例如通过化学处理具有防腐烂、抗菌、抗昆虫或紫外线损害等能力）包含有害化学物质，很大程度上限制了其使用。目前用的最多的是生产刨花板，但是其报废后怎么处理目前还不是很清楚。
- 应该指出的是，虽然目前地球上四处在砍伐森林，这并不代表新木材的资源会源源不断。尤其是在北方国家，有些树需要百年才能长成。

<https://dtsc.ca.gov/toxics-in-products/treated-wood-waste/>

<https://woodrecyclers.org/about-waste-wood/wood-recycling-information/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Wood_preservation

<http://www.wasteminz.org.nz/wp-content/uploads/Scott-Rhodes.pdf>

<http://www.brighthub.com/environment/green-living/articles/106146.aspx>

*ABC：建筑、楼宇和工程