

# 建筑 / 土木工程讲义

## 第三章

### 为什么使用不锈钢？

# 介绍

建筑、楼宇和建设  
用主要材料

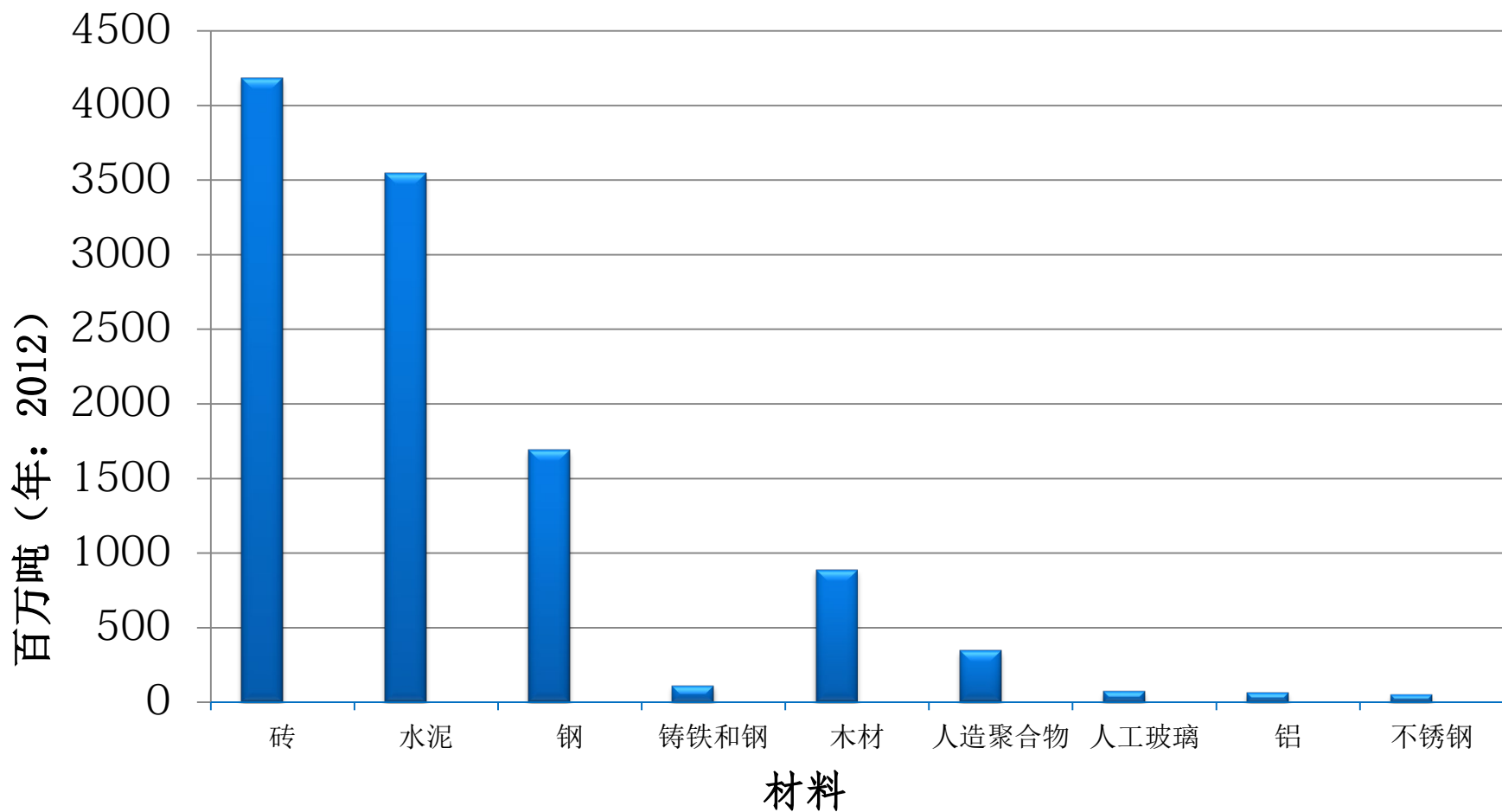
# 目前主要建筑材料的使用比较

材料	全球产量 *	平均强度	标注
夯土	Na		主要用于非洲传统民居。 因其环保特性而再次被人们关注。
砖 <sup>2</sup>	4185	2, 0	应该是2017年 其中87%在亚洲
水泥 <sup>3</sup>	3545	2, 4**	(水泥的数据需要乘以3~4倍) **水泥强度 - 标注: 2018年数据
钢铁 <sup>4a</sup>	1690	7, 8	(2018年粗钢生产) 14%用于基础设施—螺纹钢 <sup>10</sup> 占一半 42%用于楼宇建设
铸铁与钢 <sup>4b</sup>	110	7, 8	2016年数据
木材 <sup>5</sup>	887	0, 55	锯木+人造板 (2016年数据) 不包括纸浆材 (约656) 不包括木材燃料 (1860) 和其他木制品
人造聚合物 <sup>6</sup>	348	1, 1	一些天然聚合物: 纤维素、橡胶、丝绸、几丁质 2017年数据
人工玻璃 <sup>7</sup>	75	2, 6	平板玻璃 (占总玻璃市场80%) 其他主要市场: 汽车、太阳能玻璃
铝 <sup>8</sup>	64	2, 7	(2018年原铝生产) 24%用于建设 <sup>10</sup>
不锈钢 <sup>9</sup>	51	7, 8	2018年数据 17%用于建设 <sup>11</sup>

na: 数据不可获取

\*单位: 百万公吨

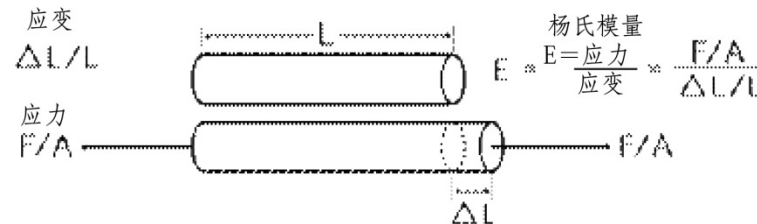
## 当前主要建筑材料的使用比较图：柱状图



# 不同材料的杨氏弹性模量<sup>12</sup>（刚度）

材料	杨氏弹性模量 (GPa)
钢铁	~210
不锈钢	~210
铜合金	~130
钛合金	~100
铝合金	~70
水泥	~40
木材	~10
塑料	~4

不锈钢和钢铁  
有同样的刚度



# 建筑用金属的 强度重量比13

不锈钢与钢及铝合金相比的强度重量比

材料	强度 (YS) / 比重	屈服、应力 兆帕	极限抗拉强度, Mpa	比重 (Kg/dm <sup>3</sup> )	最小伸长率, %
304 或316钢, 退火	26	205	515	7,8	35
304 或316钢, 加工硬化 CP 350	45	350	-	7,8	-
304 或316钢, 加工硬化 CP 500	62	480	-	7,8	-
双相钢2205	64	500	700/950	7,8	20
630不锈钢, 老化	103	800	950/1150	7,8	10
商业级碳钢板, 热轧	30	234	317	7,8	35
结构钢 (钢板和 钢棒)	32	250	400/550	7,8	23
低合金高强度钢HSLA	49	380	460	7,8	25
工程钢 4140 Q&T	96	750	930/1080	7,8	12
铝合金 3003- H14	37	145	150	2,7	40
铝合金3105- H14	38	150	170	2,7	5
铝合金5005- H16	44	170	180	2,7	5
铝合金6061- T6	71	275	310	2,7	12
铝合金6063- T5	37	145	185	2,7	12
铜	23	195	250	8,3	30

# 不同材料的简单概览<sup>14</sup>

		不锈钢			铜	铝	碳钢	塑料
性能		EN 1.4521 AISI 444	EN 1.4301 AISI 304	EN 1.4401 AISI 316				
物理性能	密度	-	-	-	- - -	+	-	++
	线性膨胀	++	0	0	0	-	+	- - -
	电导率	- - -	-	-	+++	++	0	- - - -
	铁磁性	是	不	不	不	不	是	不
机械性能	刚度（杨氏模量）	+++	+++	+++	+	-	+++	- - - -
	拉伸	+	++	++	0	-	+ / ++	- - -
	延长	+	+++	+++	+++	++	0	- - - / +++
其他	制作	++	++	++	+	0	++	-
	高温	++	++	+++	0	-	+	- - - -
	低温	-	+++	+++	+	0	-	-
	耐腐蚀性	+++	+++	++++	++	+	- -	+

符号+ 优势- 弱势（相对于其他材料）

不锈钢还是一种“年轻”  
的材料



# 历史上材料总是在推陈出新，不锈钢是最新的材料\*

材料	时间	
夯土		人类发展之处就已经开始使用！
木材 <sup>15</sup>		人类发展之处就已经开始使用！
砖 <sup>15</sup>	7500 BC 4500 BC	烧结砖 / 陶土
钢 <sup>15</sup>	4000 BC 1858	铁匠铺 贝赛麦炼钢法
人造玻璃 <sup>15</sup>	3500 BC 100 BC 1950	第一次制作玻璃 透明玻璃 皮尔金顿（浮法玻璃）工艺
铝 <sup>15</sup>	1825 1886	奥斯特发现了铝 霍尔赫鲁特工艺
钢筋混凝土 <sup>15</sup>	1850 1885	但是水泥历史更悠久 回转窑工艺
人造聚酯 <sup>15</sup>	1846 1907 1939	前味素 胶木 尼龙
不锈钢 <sup>2</sup>	1912-1913 1954 1955	早期合金 AOD 工艺 带钢热连轧

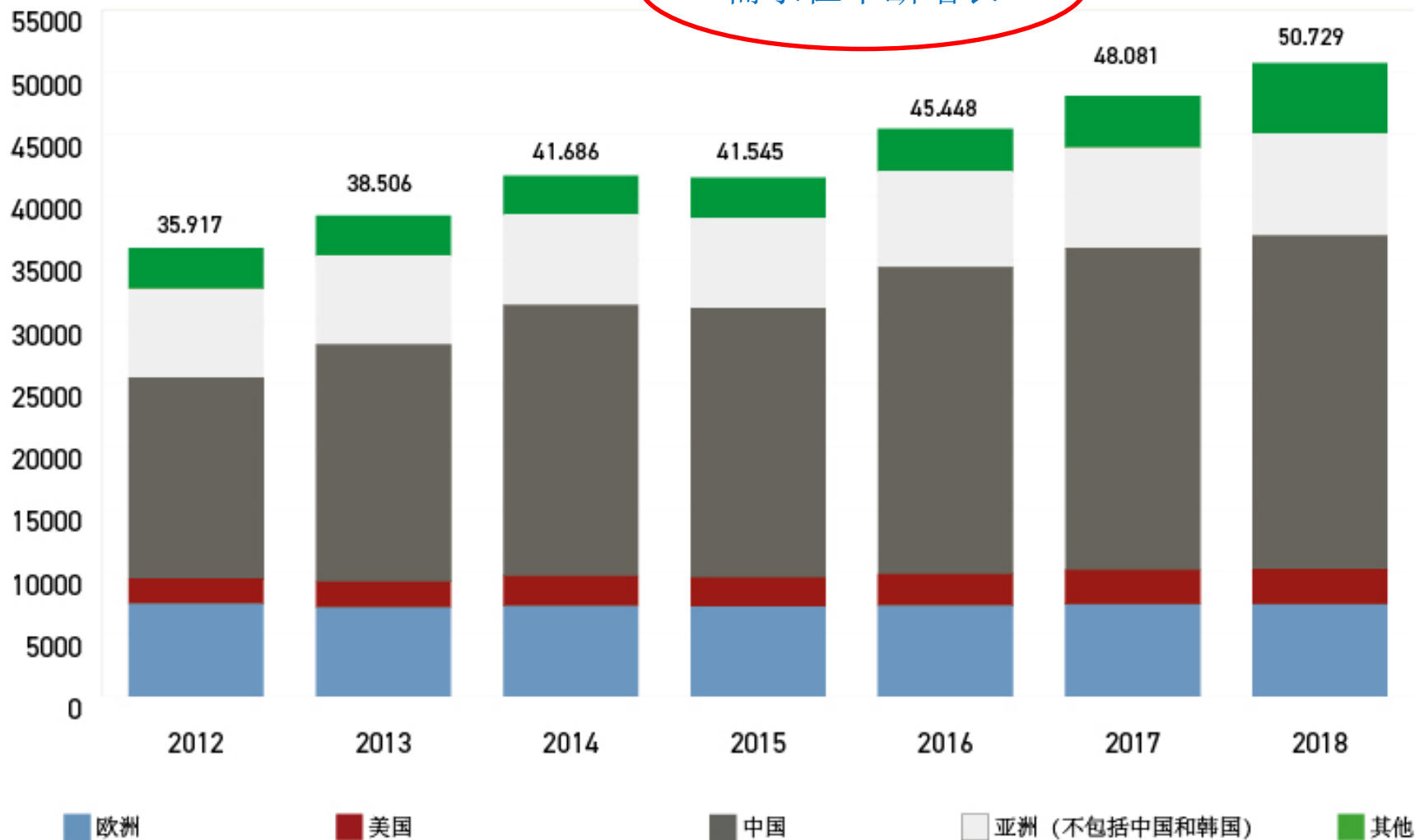
\* 当然还有更新的材料，但是并未得以大量使用

新!

# 全球各地区的不锈钢产量<sup>2</sup>

各地区不锈钢粗钢产量（钢板/钢锭当量）（单位：千公吨）  
其他：巴西、俄罗斯、南非、韩国、印度尼西亚

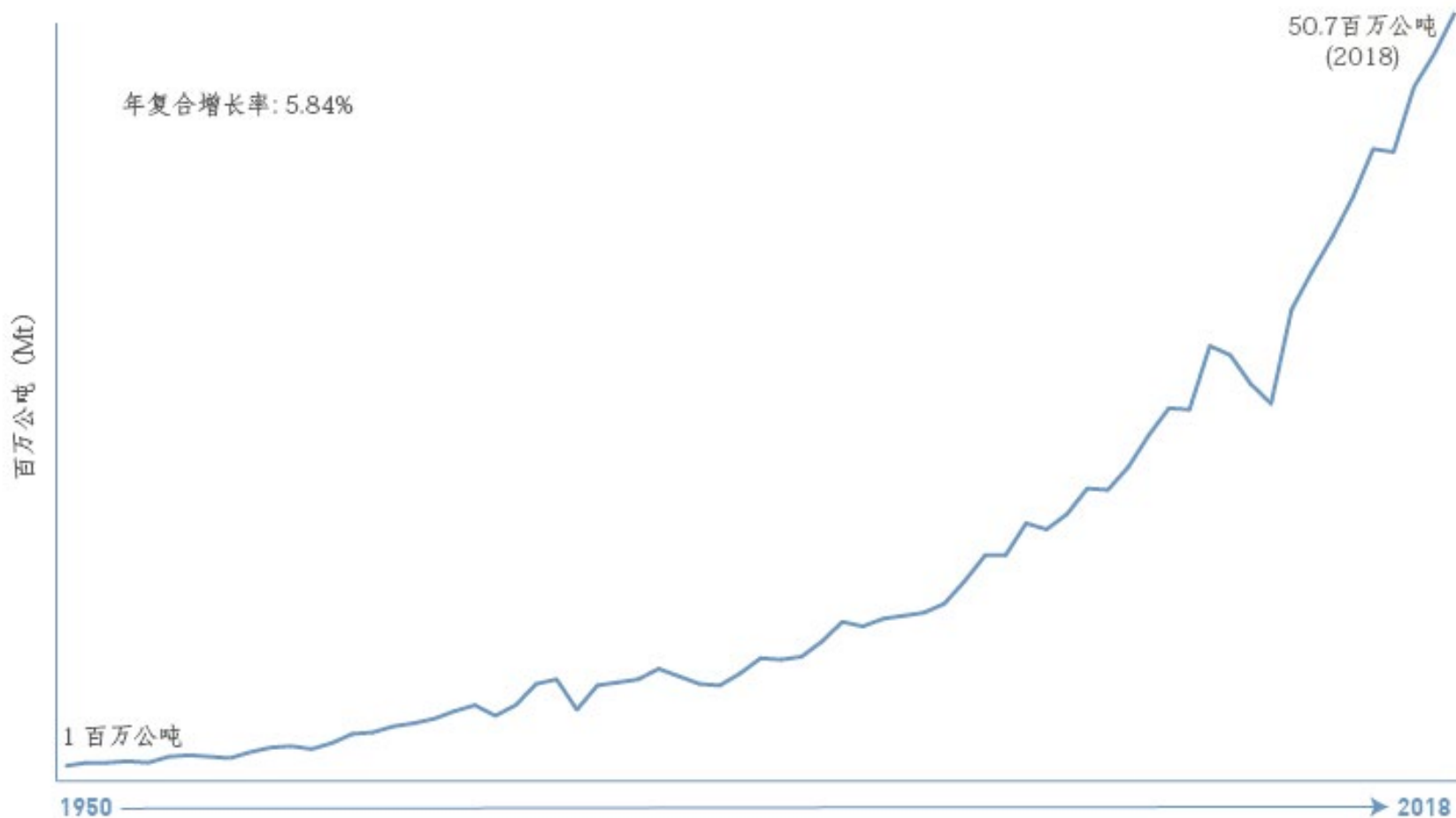
需求在不断增长



为什么使用不锈钢?

# 国际不锈钢粗钢产量年复合增长率 (钢板/钢锭当量)<sup>22</sup>

2019  
年新内容



# 为什么选择不锈钢？

# 因为它出色的性能

- 1. 耐腐蚀性（参看第三章）**
  - 包括各种环境中：从热带到两极，海洋或沙漠，污染或清洁环境……
  - 自修复，和有涂层材料不同
- 2. 耐久性，**很少甚至不需要维护
- 3. 广泛的机械性能：不锈钢强大的家族种类繁多（铬镍奥氏体钢，铬锰奥氏体钢，铬铁素体，双相钢，含铬的马氏体碳钢），作为建筑材料在主要建筑规范中都有包括。它还具有优异的耐火性。（参看第4章和第5章）**
- 4. 美观：**还可进行多种颜色的表面处理（参看第6章）。此外在公共场合不容易遭到损害。
- 5. 容易制造 / 连接（参看第7章）**
- 6. 出色的可持续性（参看第9章）**
  - 生命周期长，无需维护或需要少量维护。
  - 生命期结束后100% 可回收（85%以上可以回收利用），并且没有任何性能损失。
- 7. 安全与卫生：** 惰性金属，无污染，易于清洁，无菌
- 8. 特定性能：** 磁性 / 无磁性……

# 什么限制了不锈钢的使用： 价格

不锈钢很贵：真的？还是假的？

答案： 是 与 不是

**是：**

如果关注的是初始材料成本（一般情况下是因为资金有限……）

但是错误的选择更加昂贵；

- 不锈钢一般只是项目中很小的一部分
- 不及时的修理和维护会增加巨大的直接和间接成本

**不是：**

如果

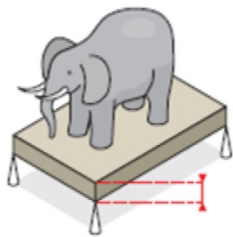
- 考虑整个生命周期成本（也就是“真正”的成本），也就考虑到所有因素，包括维修、服务周期和回收\*
- 设计得以优化：将薄钢板加工成复杂形状可以在尽量节省材料的前提下，产生稳固、结实的结构。

\* 最符合业主利益的方式，是通过分析全生命周期成本来决定选材

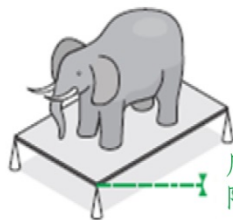
# 不锈钢（相比其它金属）的用料更少<sup>16</sup>

## 用最少的材料做更多事情

金属由于强度高，可以用很少的材料，承担更大负荷，或者与其他材料一起使用来强化其他材料。



非金属材料

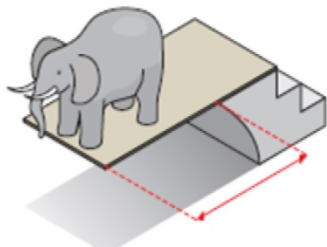


金属

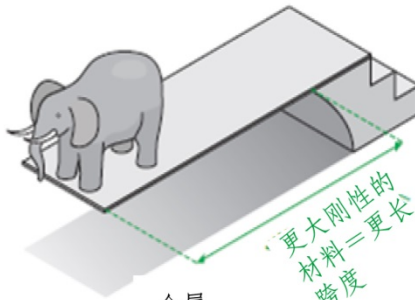
用材更少 =  
降低厚度

## 设计师的自由

金属较高的刚性能跨越更长的距离，为设计留下了很大的自由。



非金属材料



金属

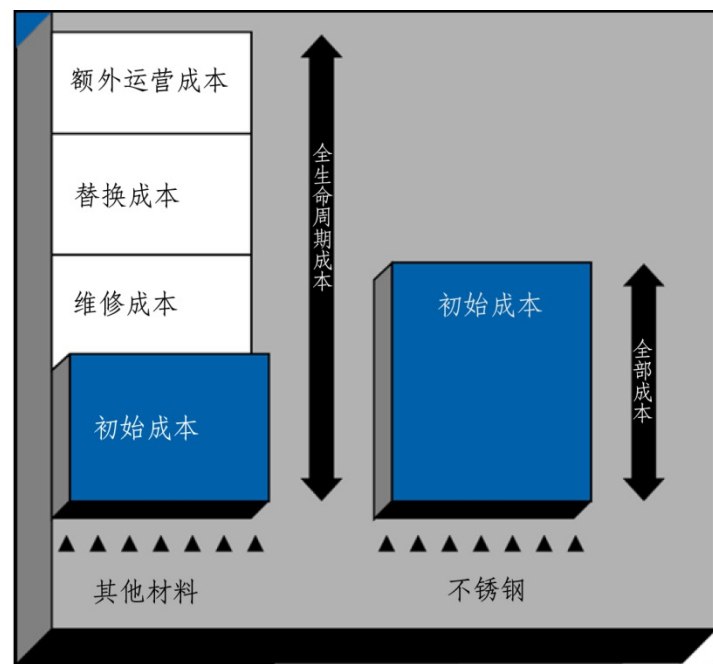
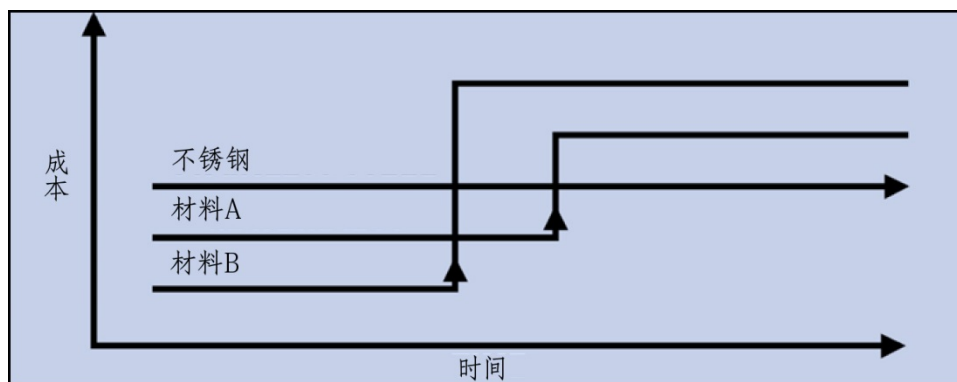
更大刚性的  
材料 = 更长  
跨度

常用的是0.4毫米和0.6毫米的薄规格钢

重量：每平方米分别只有3.12公斤和4.68公斤！

# 为什么说如果考虑生命周期成本，不锈钢并不贵？

随着时间流逝，其他材料结构的成本会大幅度增加，而不锈钢结构的成本通常保持不变。



仅在美国，腐蚀成本就超过了1370亿美元<sup>17</sup>



# 比较两座老建筑的生命周期成本<sup>18, 19</sup>

结构	竣工	材料	高度	维护
埃菲尔铁塔——巴黎* 	1889 	铁艺	324米	每七年维修一次，每次需要花一年半的时间（15个月）来涂漆。共需消耗50 到60 吨的漆，25个喷漆工，1500个刷子，5000个沙盘，1500套工作服。
克莱斯勒大厦（楼顶和入口）——纽约 	1930 (楼顶1929) 	奥氏体不锈钢（牌号302）	319米	1951、1961和1995年分别维护过两次。1961年的清理方案未知。1995年用了温和的清洁剂，去邮寄和磨砂膏。

- 埃菲尔铁塔是在发明不锈钢之前建造的..... 它本来是一个临时性的建筑，但是公众就是喜欢它！

## 案例： 比较两座著名桥梁的维护<sup>20, 21</sup>

- 旧金山的金门大桥
- 香港的昂船洲大桥

请看下两张幻灯片

# 金门桥（1937），旧金山

维护  
←



“由13名铁工、3名推钢铁工人，以及28名漆工、5名漆工助理，以及一名首席桥梁漆工组成的团队，悬吊在金门之上，冒着风雨海雾，修复被腐蚀的钢。铁工用高强钢螺栓替换掉腐蚀钢铆钉，还制作一些用在桥梁上的小设计，来辅助漆工的套索等。铁工还会移动钢板和钢棒，方便漆工对桥柱和桥弦的内部进行处理。漆工负责整个大桥表面的工作，对腐蚀区域进行重新喷涂。”<sup>20</sup>

# 昂船洲大桥（2009），香港



维护



**项目细节：**1,596米长的双向三道高架斜拉桥，净跨度1018米。能够抵御台风。

**材料：**塔高从175米以上，至295米及其塔表皮使用了屈服应力450兆帕，EN1.4462双相不锈钢板，

**为什么选择不锈钢而非碳钢：**在炎热污染的海水环境里，其设计生命周期为120年，而且不需要维护。<sup>21</sup>

# 主要参考文献

1. <https://worldstainless.org/>
2. (a) <http://www.hablakilns.com/the-brick-industry/the-brick-market/>  
(b) [http://wiki.answers.com/Q/What is the weight of a red clay brick in Kilograms](http://wiki.answers.com/Q/What_is_the_weight_of_a_red_clay_brick_in_Kilograms)
3. <http://www.cembureau.eu/about-cement/key-facts-figures>  
(a) <https://www.worldsteel.org/> (b) [www.globalcastingmagazine.com](http://www.globalcastingmagazine.com)
4. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
5. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data>
6. <http://www.glassforeurope.com/en/industry/global-market-structure.php>
7. <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/>
8. [http://worldstainless.org/statistics/crude steel production](http://worldstainless.org/statistics/crude_steel_production)
9. <http://www.withbotheyesopen.com/>
10. <http://www.ssina.com/overview/markets.html>
11. <http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/cueddatabooks/materials.pdf>
12. [http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistanceI\\_14057a .pdf](http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistanceI_14057a.pdf)
13. <http://www.aperam.com/>
14. Wikipedia
15. <http://www.nickelinstitute.org/en/MediaCentre/Publications/MetalsforBuildings.aspx>

# 主要参考文献（继续）

17. <http://www.nace.org/Publications/Cost-of-Corrosion-Study/>
18. a) <https://www.tou Eiffel.paris/en> b) <http://corrosion-doctors.org/Landmarks/Eiffel.htm>
19. a) [http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler\\_Building](http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Building) b) [http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/TimelessStainlessArchitecture\\_11023.pdf](http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/TimelessStainlessArchitecture_11023.pdf)
20. <http://goldengatebridge.org/research/facts.php#IronworkersPainters>
21. <http://www.nickelinstitute.org/~media/Files/NickelUseInSociety/Architecture/Construction%20Case%20Studies/CS-1%20Stonecutters%20Bridge%20HK%20low%20res.ashx>
22. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF Stainless Steel in Figures 2019 Chinese public version.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2019_Chinese_public_version.pdf)

感谢！