

培训材料汇总

本文旨在：为建筑和土木工程领域的培训师提供资料。可以整体或部分使用

由ISSF工作组筹备完成

成员：

- Eduardo Carragueiro (Böllinghaus)
- Thiery Cremailh (斯穆+碧根柏集团)
- Bernard Heritier (ISSF)
- Clara Herrera (奥伯卡塞尔铸钢股份公司)
- Jun Ishikawa (ISSF)
- Marco Massazza (科涅特种钢公司)
- Thomas Pauly (欧洲不锈钢协会)
- Luis Peiro (阿塞里诺克斯 Acerinox)

* 国际不锈钢论坛， Tervueren大道270，
比利时B-1150 www.worldstainless.org

经顾问委员会审议

成员：

- Dinar Camotim教授 (里斯本理工大学, 里斯本, 葡萄牙)
- Katherine Cashell教授 (布鲁内尔大学, 伦敦, 英国)
- Prof. Christelle Gress教授 (国立建筑学院, 斯特拉堡, 法国)
- Laura Daglio教授 (米兰理工大学, 意大利)
- Helmut Hachul教授 (多特蒙德应用科技大学, 德国)
- Satish Kumar教授 (印度理工大学, 金奈, 印度)
- Satoshi Nara教授 (大坂大学, 日本)
- Esther Rea教授 (加泰罗尼亚理工大学, 巴塞罗那, 西班牙)
- Barbara Rossi教授 (鲁汶大学, 比利时)
- Antonio Santa-Rita教授 (葡语大学, 里斯本, 葡萄牙)
- Pedro Vellasco教授 (里约热内卢州立大学, 巴西)

内容

1. 艺术中的不锈钢
2. A. 应用 - 建筑
 - 1- 外立面 2 - 绿墙 3 - 屋顶 4 - 内部装潢 5 - 水暖 6 - 自动扶梯和电梯
 - 7 - 机场 8 - 城市家具 9 - 修复 10 - 圆形运动场 11 - 游泳池
- B. 应用 - 基础设施
 - 1 - 水的配送 2 - 桥梁 3 - 海防
3. 为什么选择不锈钢
4. 什么是不锈钢?
5. 耐腐蚀性
6. 机械性能
7. 结构应用
 - A - 钢筋 B - 板材
8. 不锈钢表面和表面处理
9. 不锈钢的连接与制造
10. 形式与可用性
11. 可持续性

全球不锈钢发展协会：您可以免费访问并下载信息

| 不锈钢发展协会 | 网站 | 国家/地区 | 社交媒体 |
|----------------------|--|-------|---|
| 国际不锈钢论坛 ISSF | worldstainless.org | 全球 |     |
| 巴西不锈钢协会 Abinox | abinox.org.br | 巴西 |    |
| 澳大利亚不锈钢协会 ASSDA | assda.asn.au | 澳大利亚 |    |
| 英国不锈钢协会 BSSA | bssa.org.uk | 英国 |    |
| 西班牙不锈钢研究发展协会 Cedinox | cedinox.es | 西班牙 | |
| 意大利不锈钢协会 Centro Inox | centroinox.it | 意大利 |  |
| 墨西哥不锈钢协会 IMINOX | iminox.org.mx | 墨西哥 |    |
| ISER | edelstahl-rostfrei.de | 德国 |   |
| 印度不锈钢发展协会 ISSDA | stainlessindia.org | 印度 |    |
| 日本不锈钢协会 JSSA | jssa.gr.jp | 日本 | |
| 韩国钢铁协会 KOSA | kosa.or.kr | 韩国 |    |

全球不锈钢发展协会：您可以免费访问并下载信息

| 不锈钢发展协会 | 网站 | 国家/地区 | 社交媒体 |
|-----------------------|--|-------|---|
| 新西兰不锈钢发展协会 NZSSDA | nzssda.org.nz | 新西兰 |   |
| PASDER | pas-der.com | 土耳其 | |
| 南非不锈钢发展协会 SASSDA | sassda.co.za | 南非 |    |
| 北美特殊钢工业协会 SSINA | ssina.com | 北美 | |
| 中国钢铁结构股份有限公司 CSSC | cssc.org.cn | 中国 |  |
| SSN | stalenierdzewne.pl | 波兰 |  |
| 瑞士钢铁协会 Swiss Inox | swissinox.ch | 瑞士 | |
| 泰国不锈钢发展论坛 TSSDA | tssda.org | 泰国 |  |
| 美国钢铁协会 USSA | ussa.su | 俄罗斯 | |
| 国际铬业发展协会 ICDA | icdacr.com | 全球 |   |
| 国际钼协会 IMOA | imoa.info | 全球 |   |
| 镍业协会 Nickel Institute | nickelinstitute.org | 全球 |    |

全球不锈钢发展协会：您可以免费访问并下载信息

| 不锈钢发展协会 | 网站 | 国家/地区 | 社交媒体 |
|----------------|--|-------|---|
| Construiracier | construiracier.fr | 法国 |      |
| Team Stainless | Stainlessconstruction.com | 全球 | |
| 不锈钢培训网 | issftraining.org | 全球 | |

建筑 / 土木工程备用讲义

第一章 艺术



地点:
福尔柯克, 苏格兰

材料:
结构钢
用316L (S31603) 不
锈钢包层

尺寸:
30米高

重量:
每个300吨

修建年份:
2013

Andy Scott: 马形水鬼^{1,2}

Andy Scott: “该结构艺术的最初灵感来自于神话中的水马。在此基础上, 我进行了艺术加工, 并融入当代元素, 将这个神话转换为一座社会历史纪念雕塑, 旨在庆祝马在工、农业中扮演的重要角色, 以及马拖车和运河的明显联系。”

**地点:**

布鲁塞尔, 比利时

材料:1.4404 (316L) 抛光
不锈钢**尺寸:**102米高, 由9个直径
为18米的球体组成**重量:**

2400 吨

修建年份:

1958

设计: A. Waterkeyn **建筑师:** A. and J. Polak: **原子球塔**
3,4

《原子球》塔于1958年为布鲁塞尔世博会修建的。它由9个球体连接形成一个能放大1650亿倍的铁晶球。铁晶球在2004年到2006年进行了为期三年的翻新, 翻新中将褪色的铝板换成了不锈钢板。CNN称其为欧洲最奇怪的建筑! 它是布鲁塞尔主要景点之一。



地点:
圣路易斯, 密苏里州,
美国USA

材料:
AISI 304不锈钢包层

尺寸:
192米高

重量:
4164 吨

修建年份:
1965

设计师: E. Saarinen Engineer: H. Bandel: 圣路易斯大拱门 ^{5,6}

它是“纪念美国西部大开发的最好的永久性纪念碑……”，圣路易斯大拱门位于美国密苏里州，高达192米，被誉为全球最高的拱门，已经成为圣路易斯的象征。大拱门总重4164吨，其中803吨为AISI304不锈钢包层。

**地点:**

芝加哥, 美国

材料:

高抛光316不锈钢板

尺寸:

10米× 20米×13米

重量:

110 吨

修建年份:

2004

Anish Kapoor爵士: 云门 7,8

Cloud Gate是英国艺术家Anish Kapoor在美国首次制作的大型户外雕刻艺术品。它由无缝隙110吨的椭圆形不锈钢组成,能反射芝加哥著名的轮廓线及漂浮的云朵。雕塑下面有个凹面形成的12英尺高的拱形“门”,游客会被其镜面表面所吸引,去触碰它,并从各个角度来看镜面反射的影像。该建筑的灵感来自于液态水银球,在全球同类建筑中属于最大的。



地点:
诺曼底, 法国

材料:
2205 和316L 不锈钢

尺寸:
9米高

重量:

修建年份:
2004

Anilore Banon: Les Braves 9-10

坐落在法国诺曼底圣劳伦特滨海的奥马哈海滩的这座纪念碑是为了纪念1944年6月6日诺曼底登陆时那些牺牲在海滩的战士。该纪念碑是在诺曼底登陆60周年纪念日，2004年6月5日建成的。

**地点:**

Toledo艺术馆,
Toledo, 俄亥俄州,
美国

材料:

Painted不锈钢

尺寸:

377 x 235 x 245 厘米

重量:**修建于:**

2010

Jaume Plensa: 镜面1和2 12, 13

该雕塑的核心理念在于沟通。两个雕塑面对面，似乎在进行一场永恒而安静的对话。标题“镜面”就是这两座雕塑为彼此所做的一一去反射另一个的想法与梦想。两座雕塑之间的距离足够大，观众可以站在中间，仿佛置身两者的对话中间。该雕塑是由7种语言的字母组成：阿拉伯语、中文、希腊语、印度语、希伯来语、日语、拉丁语和俄语。艺术家认为这样的对话和互动是文化与人民间学习和理解的关键。



地点:
西班牙毕尔巴鄂古根
海姆博物馆
材料:
铜, 大理石和不锈钢
尺寸:
9米x10米x12米
重量:

修建年份:
1999

Louise Bourgeois: 妈妈¹⁴

标题“妈妈”强化了该雕塑中心的动态矛盾。为什么选择蜘蛛？“因为我最好的朋友就是妈妈，她慎重、聪明、有耐心，令人舒心，讲道理，娇俏，敏感、重要、干净，而且和蜘蛛一样很有用。她能够保护我和自己拒绝回答那些“愚蠢”，猎奇、令人尴尬以及太隐私的问题。”



地点:
赫尔辛基, 芬兰

材料:
600根不锈钢管
316L (EN 1.4404)

尺寸:
8.5米高, 10.5米长,
6.5米宽

重量:
24吨

修建年份:
1967

Eila Hiltunen: Sibelius纪念碑(1967) 15

位于芬兰赫尔辛基的Sibelius纪念碑是为了纪念芬兰作曲家Jean Sibelius而修建的。600根不锈钢管, 总重24吨, 按照波浪的形状被焊接在一起, 看起来像一个管弦乐器。

地点:
奥斯陆, 挪威
材料:
不锈钢和玻璃板
尺寸: :
12米X17米X16米
重量:

修建年份:
2010



Monica Bonvicini: Hun Ligger (她撒谎) 16

这是一个永久性的雕塑，在奥斯陆歌剧院旁边，峡湾水域的水泥平台上漂浮。该雕塑距水面高度12米。雕塑会随着海浪和风的变动，沿着轴线旋转，变化多端水面及其透明表面反射的光线为观看者带来了各种不同体验。

地点:
耶路撒冷

材料:
抛光不锈钢

尺寸:
高5米，直径5米r

重量:

修建年份:
2010



Anish Kapoor爵士：颠倒的世界 17

该不锈钢作品高5米，直径5米，将整个耶路撒冷市映射到空中，以彰显耶路撒冷圣城在精神上的重要性。



地点:
雷克雅未克, 冰岛

材质:
不锈钢

尺寸:
9米 x 18米 x 7 米

重量:

修建年份:
1990

Jon Gunnar Arnason: 太阳航海者¹⁸

“太阳航海者是一艘梦想之舟，它是一首太阳颂歌。它内涵是对未知领域的承诺，是希望、发展和自由的梦想”。该雕塑位于冰岛雷克雅未克北部海边的 Sæbraut 附近。



地点:
特伦特姆花园，英国

材料:
不锈钢丝

尺寸:

重量:

修建年份:

Robin Wight: 悦动的小精灵 19

英国雕塑家Robin Wight创作了风中飞舞的小精灵手握蒲公英，蒲公英的有的依附在根上，有的似乎是悬浮在空中。整个雕塑都是用细密交织的不锈钢丝来包覆着。目前在特伦特姆公园还有他的几个雕塑作品。

<http://www.fantasywire.co.uk/>

**地点:**

图斯特拉古铁雷斯，墨西哥

材料:

涂层不锈钢

尺寸:

48米（加底座高62米）

重量:

2000 吨

修建年份:

2007

Architect Jaime Latapi Lopez: Cristo de Chiapas ²⁰

“Cristo de Chiapas”是一座难忘的十字架雕塑，它架体中部镀有金色的不锈钢涂层，凸显耶稣的轮廓，并且会在阳光下反射光芒。



地点：
法国凡尔赛宫

材料：
不锈钢

尺寸：
3米 x 1.5米 x 4米

重量：

修建年份：
2009

Joana Vasconcelos: 玛丽莲 (2009) ²¹

“玛丽莲”的造型来源于一双优雅的高跟凉鞋，用平底汤锅和锅盖制作成一个放大比例的高跟鞋雕塑。汤锅和高跟鞋之间这种不太可能，但很自信的搭配，两个象征女性个人和公开维度的符号，表现了在当代世界中女性定义的重新界定。平底汤锅代表的是女性传统的家庭范畴，为了制作这双巨大的、传统公认的优雅美丽高跟鞋，作者选择了平底汤锅，这与女性在家庭和社会范畴无法兼顾的二元性有所矛盾。该作品是献给女性二元性的颂词，暗指在颠覆社会常态的情况下个性的充分实现。

地点：

美国纽约

材料：有彩色透明涂层的高
铬不锈钢**尺寸：**357 x 218 x 121 厘
米**重量：****修建年份：**5个特别版本之一
1994 - 2007

Jeff Koons: 圣心（红色 / 金色）²²

“... 尖刻评论了对情感和宗教体验的商业化贬值。”
（《纽约时报》）





地点:

材料:

316L不锈钢

尺寸:

71 厘米x 41 厘米x 41 厘米

重量:

修建年份:

Gil Bruvel: 二分法²³

受到同时在不同的世界里完全生活复杂性的启发，二分法深度的思考并庆祝存在的双重本质。这个雕塑由“能量丝带”组成，捕捉每一个为了成为一个全面的人而启动各个层次的存在的过程。它反映出自然的力量和每个层面的存在进行结合后的安静辉煌。雕塑中蕴含着安详的冥想空间，全面拥抱存在的二元性：阿尼玛和阿尼姆斯，女性与男性，有意识的头脑和无意识的头脑，清醒与梦幻。



地点：夏洛特，北卡，美国
材料：不锈钢
尺寸：高 8米
重量：用了14吨不锈钢
修建年份：2011

David Černý: 变形 ²⁴

该雕塑结构由7层可以间歇性旋转、为雕塑带来不同形态的独立层组成。特制的程序能够控制雕塑中内嵌的引擎，编排出不同的序列。每个引擎都有反馈开关，这样电脑就直销在给定的某时间，该转动哪层，这样序列中就会出现随机运动。这些运动都是通过互联网由David自己来控制，机械工程和计算机是他设计中不可或缺的组成部分，他自己通过互联网的操控也是作品的延续。雕塑动态展示请点击在线视频链接

www.metalmorphosis.tv



位置:
挪威奥斯陆和特隆赫姆之间

材料:
抛光316号钢

尺寸:
高度: 10.3米
长度: 11.5米

重量:
建成年份: 2015年

Linda Bakke: 《大麋鹿》²⁵

《大麋鹿》是由挪威设计师Linda Bakke设计的作品，屹立在挪威奥斯陆与特隆赫姆中间的大埃尔夫达尔市的Bjøråa野餐区。除了其固有的美感，这个地标雕塑也能吸引驾驶者停下来驻足，休息伸展一下，抵抗旅途劳顿，加强路面安全。

《大麋鹿》同时也关注动物，并成为该区域的标志雕塑。

Sparebanken Hedmark艺术基金出资200万挪威币（20.7万欧元）来制作该雕塑。

<http://lindabakke.webs.com/sculptureskulptur.htm>



位置：巴黎
奥古斯塔·霍姆斯
广场
材料：
不锈钢、玻璃和塑
料
尺寸：
重量：
创建年份：2008

陈箴：《涌泉》²⁶

这个由法籍华人艺术家设计的喷泉就像一条盘旋在广场上的龙，从人行道浮出水面。龙的皮肤是透明的，能看到里面水的流动。

喷泉分为三个部分。第一部分是一条不透明的浮龙雕出从植物墙浮现后潜入地下。第二、三部分看到的是透明的龙似乎从路面拱起。在压力的作用下，水在龙体内流动，夜晚时会亮起灯光。这座喷泉由巴黎市政于1999年启动，并与2008年2月6日揭牌。尽管艺术家在2000年去世，但他留下的素描展示了喷泉的样子，雕塑家的妻子和合作伙伴徐敏协同完成。这座喷泉耗资120万欧元，大部分资金来自巴黎市和法国文化部。

来源：维基百科及<https://www.parisladouce.com/2013/03/paris-la-danse-de-la-fontaine-emergente.html>



位置：西班牙巴塞罗那

材料：不锈钢

尺寸：高39米；长：58米

重量：未知

创建年份：1992

Frank Gehry：《金鱼》²⁷

《金鱼》（El Peix d' Or）是网格雕塑的一条鱼，它张着嘴，身体波浪起伏。该雕塑由石头、钢。在地中海阳光的照射下，它铜色的不锈钢鳞片闪闪发光，其外观也随着日照的角度和当前天气情况而变化，凸显了这座巨大雕塑的有机形式。

金鱼在加泰罗尼亚语中被叫做El Peix d' Or，它是为1992年巴塞罗那奥运会的奥运村和奥运港口而设计的。金色的钢结构为商业区提供了遮阳篷，将奢华的酒店艺术与奥运村码头的海滨连接起来。它是巴塞罗那海滨最受欢迎和最引人注目的地标之一。

<http://www.barcelonaturisme.com/wv3/en/page/1232/peix-fish-frank-gehry.html>



位置：中国上海
材料：不锈钢
尺寸：高8米，长12米
重量：未知
创建年份：2015年

展望+ Atelier Deshaus：《花草亭》²⁸

这个项目是在艺术家展望1995年开始创作的假山系列钢雕的基础上开始的。[Atelier Deshaus](https://www.archdaily.com/792211/blossom-pavilion-atelier-deshaus/5799b693e58ece81bd00004a-blossom-pavilion-atelier-deshaus-photo) 将这些形式重新解释为新的结构元素，目的是在假山花园上建造一个花草亭。六个细长的岩石柱支撑着一个坚固的钢屋顶，顶部布满了花草。反光的钢柱随机分布，并没有放置在最有效的结构点上，来强化假山的概念。

<https://www.archdaily.com/792211/blossom-pavilion-atelier-deshaus/5799b693e58ece81bd00004a-blossom-pavilion-atelier-deshaus-photo>

材料：不锈钢
尺寸：等身大小
重量：未知
创建年份：-



马丁·德本翰：美人鱼3²⁹

英国当代艺术家马丁·德本翰在幻想和自然的灵感下创作了不锈钢丝雕塑作品。这位自学成才的艺术家利用无限延展材料创作了日见增多的线材作品，这些由复杂扭曲、弯曲和专业焊接构成的结构，给人们留下了深刻的印象。

德本翰大部分金属作品看起来像三位线条画，多用于户外展示。放置在自然环境中时，它们在阳光下闪耀，似乎讲述着神话故事。在其中一个作品中，一个金属丝雕美人鱼坐在百合池边的岩石上，似乎在想着是否下水游泳。每一条金属线都被雕塑成曲线，沿着柔美的女性躯干，一直流淌向美人鱼长长的尾巴。

<https://mymodernmet.com/wire-sculptures-martin-debenham/>



地点:

材料:
抛光及彩色不锈钢

尺寸:
3 块钢板, 每个规格
为1米 x 1米
重量:

修建年份:
2011

Robert Gahr: 浪涌³⁰

雕塑墙

地点:

材料:

尺寸:
2.1米高
重量:

修建年份:



Ralfonso Karo: #1 动能风雕 ³¹

25 个钻石形状的不锈钢部件相互连接，自我平衡，并在风中独立舞动。点击[这里](#)观看视频（4' :51' ' ）。。



地点：韩国

材料：喷漆不锈钢

尺寸：
273x160x95cm

重量：

创作年份：2017

NEW 2019!

金善赫：被遗忘的记忆^{32, 33}

艺术家金善赫从自然界的复杂根系中汲取灵感来进行人形结构雕塑设计。每个雕塑形象都发芽生长在一根树枝或一棵小树上，是一种人与植物的混合体。这些大型的不锈钢雕塑形象各异：有的是脸的一部分，有的是无头躯干，还有面朝地面蹲着的形象，似乎被背部的重物压得无法抬头。

金先生的极简雕塑使我们能够将自己投射到每件作品中。作品表达了一种脆弱。我们都有体会那种在成长和变革中被不同方向引导地四分五裂的感觉。但正是这种感觉又将我们连接起来，并提醒我们人类的体验是广袤并不断变化的，就像一棵树的枝桠那样。

点击下方链接，了解更多！

<http://www.worldstainless.org/applications/art>

如若您知道其他出色的作品，请告知我们！



参考资料 (1/3)



1. <http://www.andyscottsculptor.com/>
2. http://en.wikipedia.org/wiki/The_Kelpies
3. <http://atomium.be/>
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/Atomium>
5. <http://www.gatewayarch.com/>
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Gateway_Arch
7. http://www.cityofchicago.org/city/en/depts/dca/supp_info/millennium_park-artarchitecture.html
8. http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_Gate
9. <http://saintluciasculpturepark.com/portfolio/anilore-banon/>
10. <http://www.war-memorial.net/The-Braves---Les-Braves-1.292>
11. <https://www.youtube.com/watch?v=yHkOQWPZhyM>
12. <https://jaumeplensa.com/works-and-projects/public-space/mirror-2012>
13. <https://www.theguardian.com/artanddesign/2011/mar/30/jaume-plensa-show-at-yorkshire-sculpture-park>
14. <https://www.theguardian.com/arts/gallery/2007/oct/03/spider>
15. <http://www.eilahiltunen.net/monument.html>

参考资料 (2/3)



16. <http://monicabonvicini.net/work/she-lies/>
17. <http://anishkapoor.com/111/turning-the-world-upside-down>
18. <https://www.gpsmycity.com/attractions/sun-voyager-28054.html>
19. <http://twistedstifter.com/2014/07/wire-fairy-sculptures-by-robin-wight/>
20. <http://megaconstrucciones.net/?construccion=cristo-chiapas>
21. http://joanavasconcelos.com/det_en.aspx?f=2393&o=933
22. <http://www.jeffkoons.com/artwork/celebration/sacred-heart>
23. <http://www.bruvel.com/exhibitions/houston-art-fair-2015>
24. <http://twistedstifter.com/2011/10/metalmorphosis-sculpture-david-cerny/>
25. <https://www.dailyscandinavian.com/the-worlds-biggest-elk-statue-in-norway/>
26. <https://www.parisladouce.com/2013/03/paris-la-danse-de-la-fontaine-emergente.html>
27. <http://www.barcelonaturisme.com/wv3/en/page/1232/peix-fish-frank-gehry.html>
28. <https://www.archdaily.com/792211/blossom-pavilion-atelier-deshaus/5799b693e58ece81bd00004a-blossom-pavilion-atelier-deshaus-photo>

参考资料 (3/3)



29. <https://mymodernmet.com/wire-sculptures-martin-debenham/>
30. [http://www.gahr-metalart.com/artworks/metal wall art.htm](http://www.gahr-metalart.com/artworks/metal_wall_art.htm)
31. <http://www.ralfonso.com>
32. <https://mymodernmet.com/sun-hyuk-kim-stainless-steel-sculptures/>
33. <https://www.sunhyuk.com/sculpture>

建筑 / 土木工程发言人的幻灯片

第二章 应用

内容

1. [外墙](#)
2. [绿色墙壁](#)
3. [屋顶](#)
4. [装饰](#)
5. [水暖](#)
6. [扶梯与电梯](#)
7. [机场](#)
8. [城市家具](#)
9. [修复](#)
10. [小广场](#)
11. [游泳池](#)

1. 外墙



从左上角，顺时针：

1. 澳大利亚维多利亚省Westfield Doncaster购物中心外墙⁴
2. 美国华盛顿附近一所学校外墙上的不锈钢网离子遮阳板。减少眩光，节能，提供更加可见度⁶
3. 美国亚利桑那州不锈钢网覆盖的庭院。遮阳，便于空气流动⁶
4. Frank Gehry设计的Lou Ruvo医疗研究中心，美国拉斯维加斯⁵

285米高的住宅楼不锈钢外墙，美国纽约。建筑师：Frank Gehry



档案馆的水泥外墙插入反光不锈钢，Bure-Saudron (51)，法国⁸





美国明尼阿波利斯F. R. 魏斯曼美术馆（1993） 建筑师：Frank Gehry⁹

Gehry：“我一直都觉得建筑是关于材料的。看到我的艺术家直接用材料进行创作——好的作品就是看起来是对的，真实的，而丝毫不做作。”

Gehry在魏斯曼设计中选择了不锈钢……它亮亮的，反射阳光，建筑表面具有超级的耐久性，使得建筑独具一格。



美国堪萨斯的考夫曼艺术表演中心（2011）

建筑师：Moshe Safdie；工程：Arup¹⁰

建筑北侧突起的部分，俯瞰着堪萨斯市中心。它有一系列鞣入不锈钢中的拱形墙壁组成，像海浪般从地面升起。屋脊的曲面玻璃顶扫向南面低矮的十字路口，连向高65英尺，款330英尺的玻璃墙。为考夫曼中心的Brandmeyer大会堂提供了堪萨斯市的全景图。这巨大的玻璃外墙和屋顶由27个高张力钢索锚固定，看起来像一个管弦乐器。



Len Lye 中心，新西兰新普利茅斯
建筑师：A. Patterson¹¹

14 米高的外墙由32吨高度抛光的316号不锈钢做成。



德里地铁公司总部，印度
建筑师：Raj Rewal & Associates¹²

建筑公司Raj Rewal & Associates为这座位于新德里的建筑设计了不锈钢覆层，使用的材料包括不锈钢管，不锈钢板，以及带光华玻璃般的不锈钢管。



小区供暖设施，意大利都灵
建筑师： JP Buffi¹³

供暖设施是由曲面来包裹的。

铜色不锈钢带的使用是为了提供空隙，以便观看设施内部。



首都门大厦（2010）阿布扎比 RMJM 建筑公司¹⁴⁻¹⁶

不锈钢结构从19层“泼贱”下来，这既是设计元素，也是遮阳设施，将首都门大厦的30%的阳光遮蔽。这个泼贱的不锈钢结构一直沿着主楼体向南弯曲，尽可能多的为主楼遮光。

“泼贱”结构由580块钢板做成了面积约5000m²的不锈钢网。



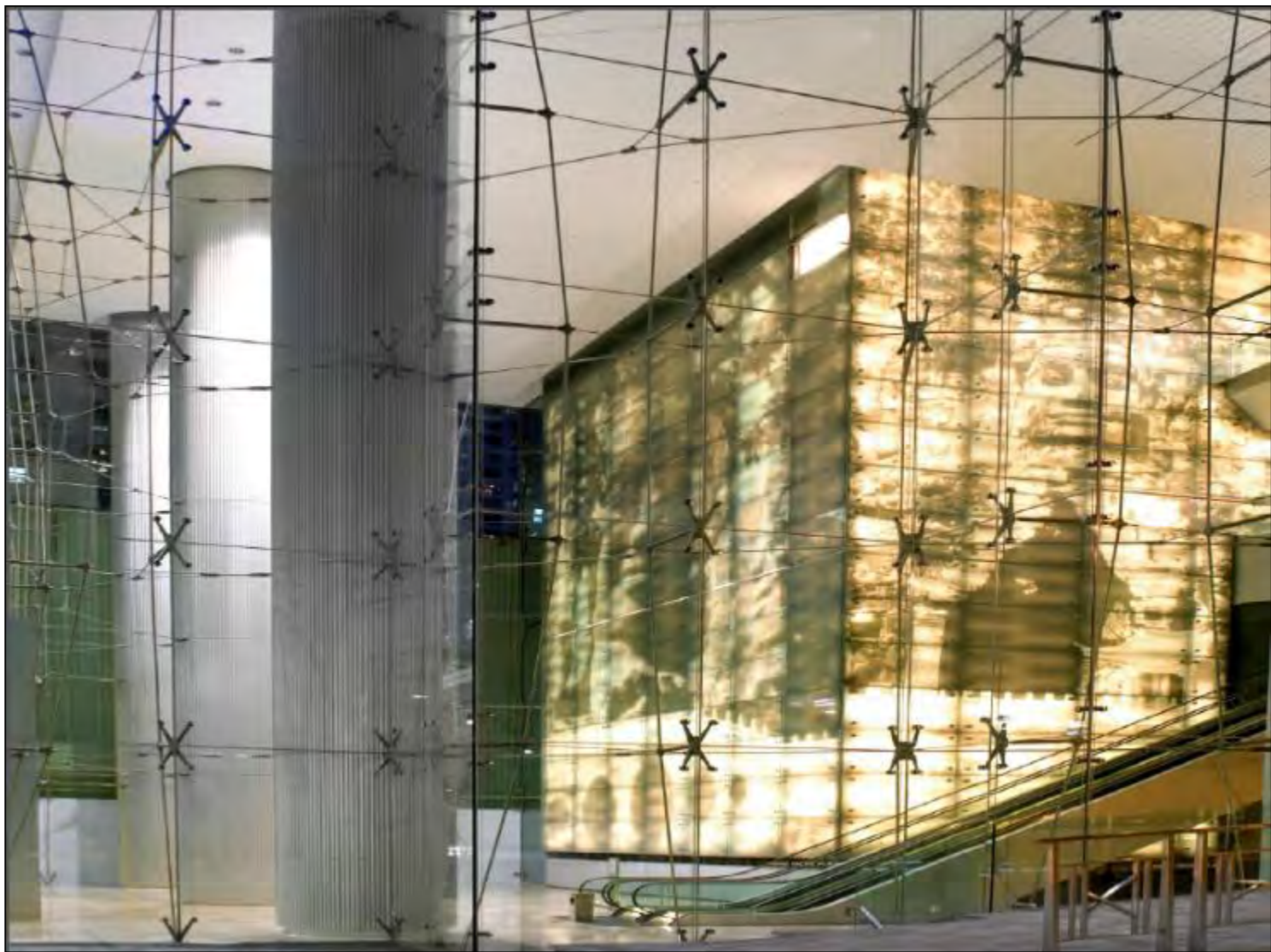
玻璃外墙¹⁷

通过节点相连的不锈钢拉杆交织而成的网构成了玻璃外墙的框架，尽可能多的扩大了自然光开放区域，包括角落。



玻璃外墙，巴黎¹⁸

支撑玻璃幕墙的是一个轻量、高强度的不锈钢结构。背景中的球是“晶洞”，作为“科技产业城”的一部分，它是一个不锈钢覆层的360度电影院。



玻璃幕墙，巴黎



办公楼网格外墙，荷兰乌得勒支¹⁹

建筑师：Cepezed

该3000 m²的不锈钢网格外墙支撑了若干透明的小塑料盘。

风吹过，网格开始震动，小塑料盘会移动，产生涟漪以及特殊光效。



节能大厦，法国南特²⁰

建筑师：FORMA 6 & B. Dacher

不锈钢外墙错综复杂的激光切割面使得建筑显得与众不同。



麦高文学术中心，华盛顿特区，遮阳网⁶

麦高文学术中心是一所教学楼社区学院。

建筑设计了具有通风的外墙的中庭区，位于建筑中央，早上的时候直接迎接旭日东升。

不锈钢遮阳减少了日间眩光，降低了夏日需要空调使用。在这种可见性很关键的应用中，可以使用典型的金属遮阳品。它们只是没有提供足够的露天区。

戒毒所，法国伦蒂利城堡²¹⁻²³



左图：设计前

下图：设计后

位于城堡公园的当代艺术建筑
外立面为镜面不锈钢板

建筑师Xavier Veilhan
认为：

«… 这个建筑就是它过去的影子，我想让它的外墙能反射处周围公园的美景»





圣盖伊医院，伦敦²⁴

建筑师：T. Heartherwick

锅炉间独特的外立面下面是为整个医院提供动力的锅炉房。它由108个波浪状不锈钢织物构成的大片钢瓦组成，在夜里提供照明，欢迎那些黑夜里来医院的员工和访客。

2018
年新内容

美国迈阿密美国航空球馆

位于迈阿密的Mediamesh® 幕墙是由3400平方英尺的高端建筑用不锈钢网织物制成，上面纵横交错着LED轮廓线，游客可以从里面毫无阻碍地看到赛场，而幕墙外面也能展示数字媒体内容。迈阿密Mediamesh球馆的外立面高三层（高42英尺，宽80英尺），是普通广告牌的四倍。球馆每年会举办各种音乐会、家庭活动和体育赛事，年接待人次达130多万。

外墙参考资料(1/2):

1. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/Facades EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/Facades%20EN.pdf)
2. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/Innovative facades EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/Innovative%20facades%20EN.pdf)
3. <http://www.archiexpo.com/architecture-design-manufacturer/stainless-steel-facade-cladding-2964.html> 点击这里查看更多案例
4. <http://www.steelcolor.com.au/westfield-doncaster/>
5. <http://wikimapia.org/7695594/Cleveland-Clinic-Lou-Ruvo-Center-for-Brain-Health#/photo/3116187>
6. <http://cambridgearchitectural.com/>
7. <https://newyorkbygehry.com/>
8. <http://archinect.com/firms/project/39353/edf-archives-center/9174600>
9. [http://greatbuildings.com/buildings/Weisman Art Museum.html](http://greatbuildings.com/buildings/Weisman%20Art%20Museum.html)
10. <http://www.arcspace.com/features/moshe-safdie-/kauffman-center-for-the-performing-arts/>
11. <http://pattersons.com/civic/len-lye-contemporary-art-museum/>
12. [http://www.stainlessindia.org/UploadPdf/SI Mar08.pdf](http://www.stainlessindia.org/UploadPdf/SI%20Mar08.pdf)
13. <http://www.archilovers.com/projects/30432/centrale-termica-teleriscaldamento-iride-energia.html>
14. <http://www.skyscrapercenter.com/building/capital-gate-tower/3172>

外墙参考资料 (2/2) :

15. <http://www.dailymail.co.uk/travel/article-1284591/Abu-Dhabi-Capital-Gate-skyscraper-leans-times-Tower-Pisa.html>
16. <http://www.e-architect.co.uk/dubai/capital-gate-abu-dhabi>
17. <http://hda-paris.com/>
18. <https://www.parisinfo.com/musee-monument-paris/71198/La-Geode>
19. http://issuu.com/hda_paris/docs/hda_2011_references_web_issu
20. <http://5osa.tistory.com/entry/Cepezed-and-Ned-Kahn-Studios-Vertical-Canal-fa%C3%A7ade-Utrecht-Netherlands>
21. <http://www.reseaux-artistes.fr/dossiers/beatrice-dacher/architecture-sully-2006-2010>
22. <http://www.marneetgondaire.fr/les-albums-photos/album-photos-490/le-chateau-de-rentilly-renaissance-en-2013-230.html?cHash=d2d475c49fe75ee015495efb35c04460>
23. <http://www.marneetgondaire.fr/le-parc/les-espaces-1705.html>
24. <http://www.dezeen.com/2007/08/20/boiler-suit-by-thomas-heatherwick>
25. http://www.gkdmediamesh.com/blog/the_role_of_metallic_mesh_in_transforming_stadium_architecture.html

2. 绿墙

关于绿墙

绿色外墙是一个新生的建筑元素，它为建筑带来巨大好处：舒适度、温度控制以及改善空气质量。

植物可以沿着不锈钢丝绳、钢棒和钢丝网慢慢爬上去建筑外墙，这也是不同于传统在墙面种植绿色植物的方法。

对现有建筑改造为绿墙建筑非常简单。

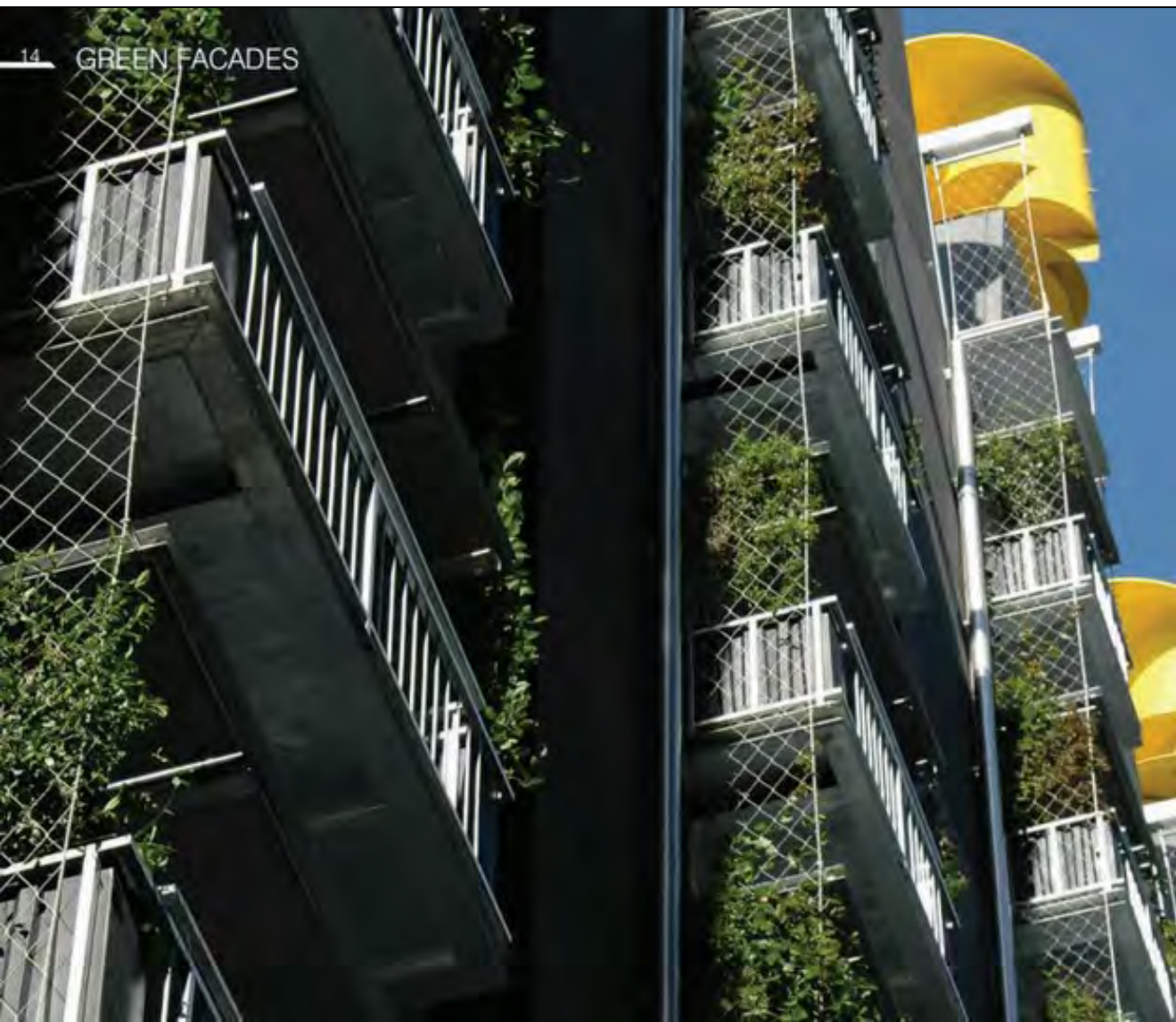


绿色外墙¹

电力变压器建筑，巴塞罗那。用不锈钢紧固件和钢丝绳来支撑植物。



住宅楼绿色外墙² (经济实惠, 可广泛使用!)



优势: :

- 改进隔热性能
- 缓冲噪音
- 清凉小气候
- 改进生物多样性
- 改进空气质量, 过滤污染物
- 美观
- 心里幸福感
- 积极的社会经济效果

不锈钢丝绳和钢锚



住宅楼绿墙²

在日益非自然的环境中引入自然因素可带来重大好处，澳大利亚政府成立了澳大利亚绿色建筑委员会（GBA）来倡导可持续发展。



垂直绿化

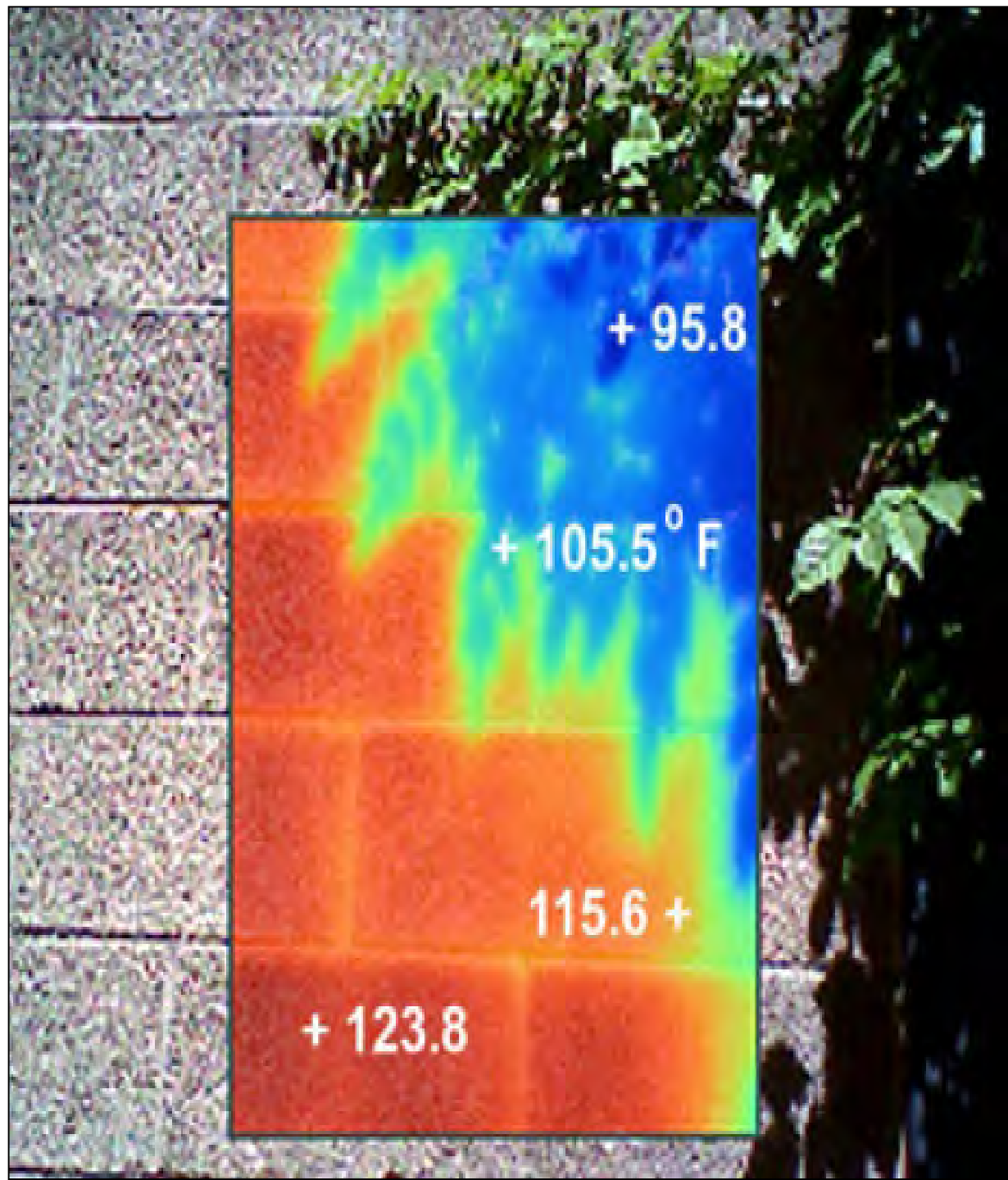
默尔恩市政会议室：不锈钢架和不锈钢部件为植物提供了必需的攀爬架构，因此将硬质保温表层转换成垂直花园。





绿植外墙⁴

红外图显示了建筑物的表面温度，亚利桑那州坦帕。
° F，参看文献4.





锚和锚链


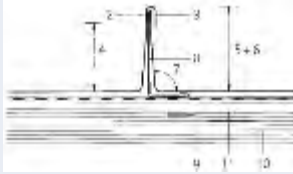
不锈钢部件非常容易安装

绿墙参考资料

1. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/VertGardens EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/VertGardens%20EN.pdf)
2. <http://www.ronstantensilearch.com/melbourne-city-council-chambers-northern-green-facade/>
3. <http://www.jakob.co.uk/information/image-galleries/greenwall-systems-gallery/large-scale-greenwall-systems.html>
4. http://drum.lib.umd.edu/bitstream/1903/11291/1/Prince_umd_0117N_11876.pdf
5. <http://www.architectureartdesigns.com/30-incredible-green-walls/>

3. 屋顶

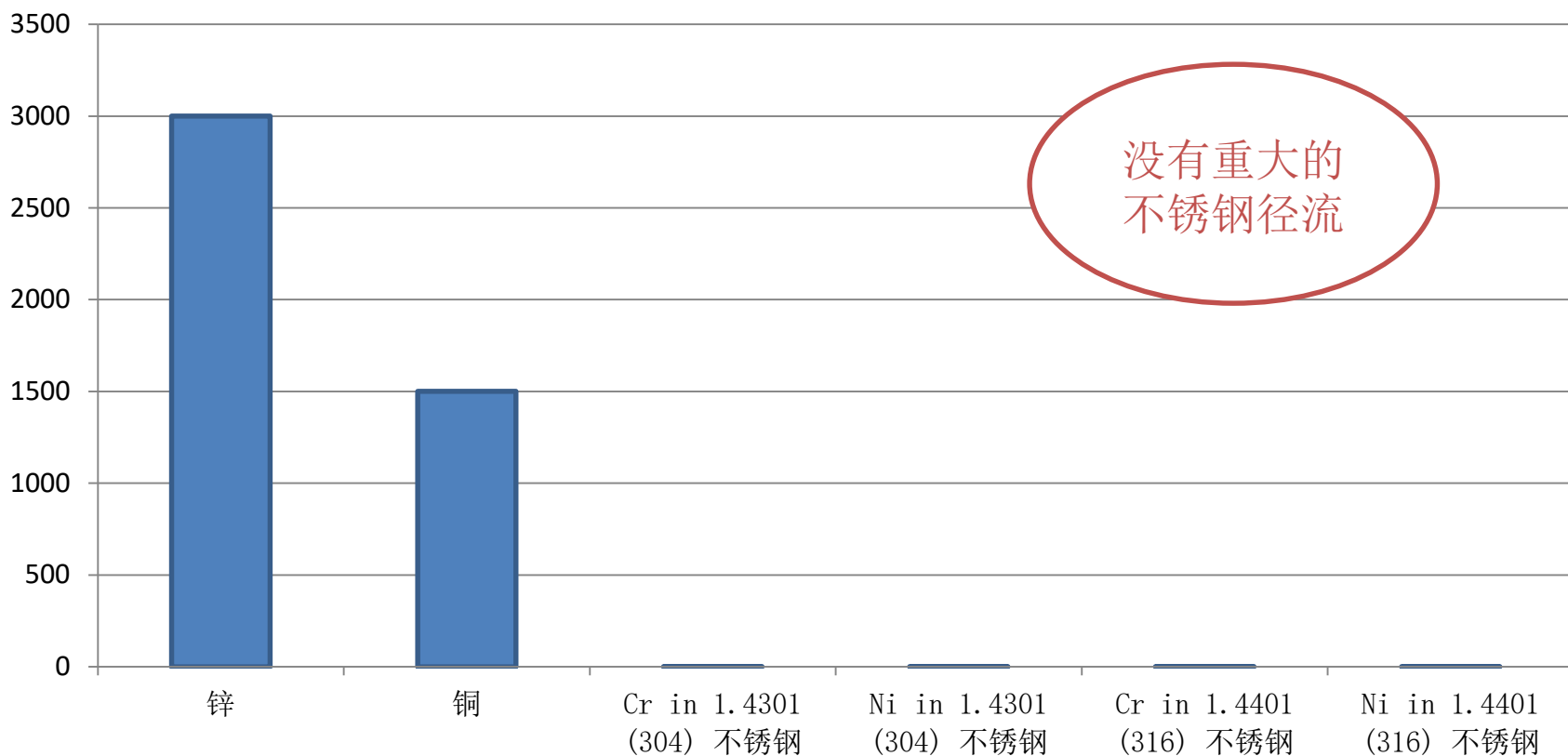
不锈钢屋顶的特点¹⁻⁴

| | 倾斜 (>3%) | 平 |
|------|---|--|
| 材料 | 铁素体 1.4509 1.4510 | 奥氏体 1.4301 1.4401 |
| 链接 | 机械 | 焊接（水密性） |
| |  |  <ol style="list-style-type: none"> 1. 不锈钢条物 2. 连续无缝焊接 3. 立式焊缝的折叠顶部 4. 焊缝的高度约15毫米 5. 折叠之前的焊缝高度为30毫米 6. 折叠后的焊缝高度为20毫米 7. 角度约为42° 8. 滑动夹板 9. 不锈钢固件 10. 声音 / 保护层 11. 支撑结构 |
| 表面处理 | 哑光或镀铅锡合金 (Sn)* | 哑光或 2B （有顶层的时候） |
| 厚度 | 0.5mm; 0.4 mm 用于雨水管件 允许轻量化的结构 | |
| 使用寿命 | | |
| 其他 | 适合绿色屋顶 在建筑翻新时，可以直接加在沥青层上。 | |

- 某些地方限制使用铜或锌，因为它们向环境释放毒素，而且会被浸入雨水中

新的关注点：雨水中的金属径流⁵

大多在北欧……源于对水质、可用性和循环的需求





1. 左图：全貌，议会位于后侧。

2. 右图：中央焦点圆顶

图书馆面积约 55,000 m²，建筑高度受到限制，来避免阻挡议会大厦的视野。中央焦点顶由不锈钢管横梁和钢丝绳交织成网，在关键拉节点处交汇。第二个圆顶也叫贵宾圆顶，也由不锈钢管构成，直径为16米，高2.5米。

从左上角开始顺时针旋转¹

1. 不锈钢教堂顶，英国莱斯特
2. 学校餐厅，法国那克斯
3. 宇宙科学中心，德国不来梅





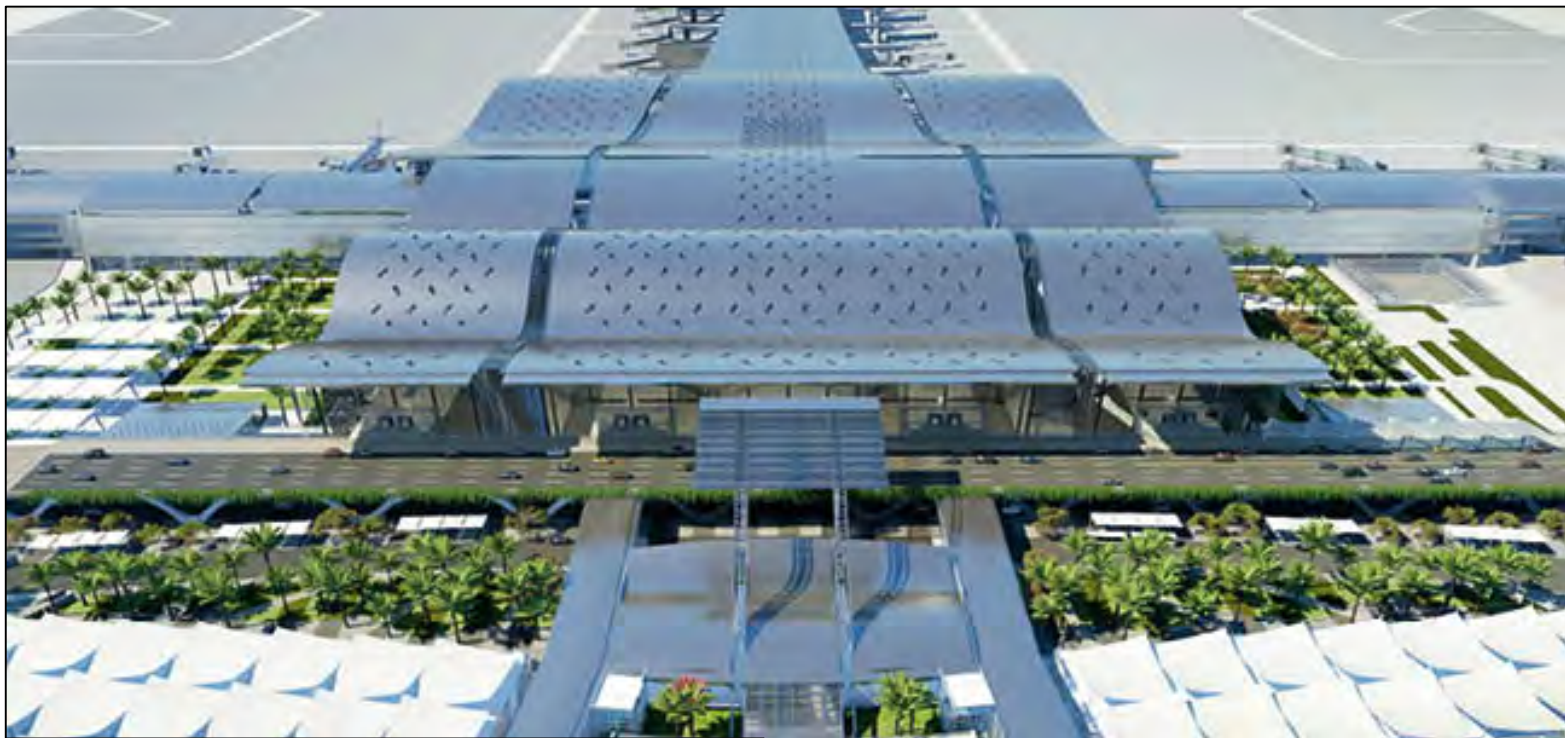
上海世博会阿联酋展厅⁸

建筑师：Foster & Partners

沙丘型的结构是有覆盖着不锈钢板的三角网格构成，在设计上可以随时拆除的。

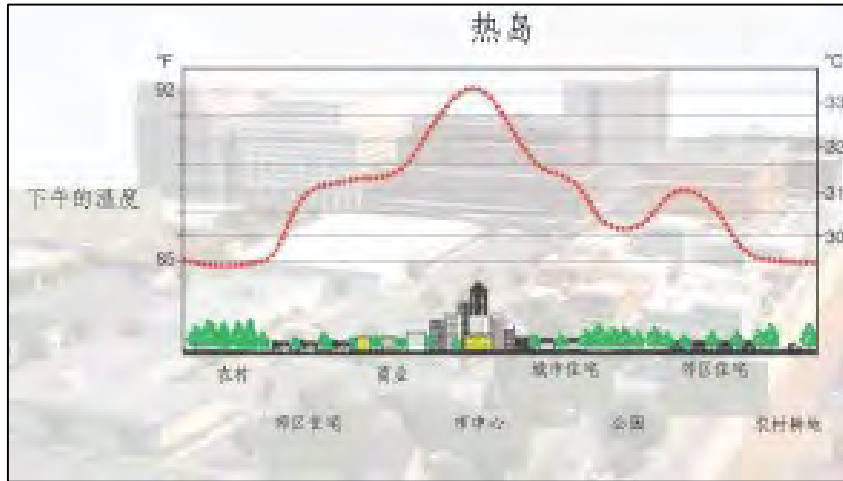
新多哈机场，卡塔尔⁹⁻¹⁰

建筑师：HOK



这个起起伏伏的屋顶被认为是全球最大的不锈钢屋顶（ 195000m^2 ）。
它表面处理的特点是非定向、低光泽、纹理均匀。
选择使用了精益双极不锈钢。
无需维护。

绿色屋顶^{1-4, 11-12}



优势:

- 降低热岛效应
- 降尘
- 促进生物多样性
- 提供绝热
- 减少洪涝危险
- 降噪
- 吸收二氧化碳
- 美观
- 心里幸福感
- 积极的社会经济效果

局限

- 需要解释的结构
- 需要相当的技术能力
- 也许夏天需要浇水
- 需要一定程度的维护
- 成本高



高反射屋顶

萨姆休斯顿州立大学奥斯汀厅(1851)

美国得克萨斯州，亨茨维尔

低眩光*，高反射不锈钢屋顶¹³⁻¹⁵

高反射（反射率）屋顶能降低城市热岛效应

目前LEED（能源环境设计领导力）中业包含了太阳能反射率

专有处理技术的SRI > 100



| 产品 | 温度上升, 摄氏 (华氏) | 太阳能反射指数 |
|------------|------------------|---------|
| 不锈钢, 裸面 | 27 (48 F) | 39-60 |
| 镀锌钢, 裸面 | 30 (55 F) | 46 |
| 铝, 裸面 | 27 (48 F) | 56 |
| 任何金属, 白色涂层 | 9 (16 F) | 107 |
| 粘土瓦, 红色 | 32 (58 F) | 36 |
| 混凝土瓦, 红色 | 39 (71 F) | 17 |
| 混凝土瓦, 白色 | 12 (21 F) | 90 |
| 沥青, 仿白色 | 36 (64 F) | 26 |
| 沥青, 仿黑色 | 46 (82 F) | 1 |
| 木瓦, 棕色 | 37 (67 F) | 22 |
| 木瓦, 白色 | 6 (10 F) | 106 |

* 屋顶表面必须提供漫反射光（即要避免镜面反射）。因此高度抛光的表面是不适合的。



遮阳¹⁶

亚利桑那大学医学研究大楼

屋顶遮阳

不锈钢网覆盖43%的开放区：最大程度遮挡阳光，还可以通过板间缝隙通风。

屋顶参考资料

1. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/Roofing EN. pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/Roofing%20EN.pdf)
[http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/RoofingTech EN. pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/RoofingTech%20EN.pdf)
2. [http://ssina.com/download a file/roofing. pdf](http://ssina.com/download%20a%20file/roofing.pdf)
3. <https://youtu.be/ZQledV2QFRY>
4. [http://www.bssa.org.uk/cms/File/The%20Growing%20Market%20for%20Stainless%20Steel%20Roofing. pdf](http://www.bssa.org.uk/cms/File/The%20Growing%20Market%20for%20Stainless%20Steel%20Roofing.pdf)
5. O. Wallinder and C. Leygraf ASTM Special Technical Publication N° 1421, « Outdoor Atmospheric Corrosion » pp 185-199
6. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Delhi Parliament Library. pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Delhi%20Parliament%20Library.pdf)
7. [http://www.architectureweek.com/2003/1022/design 1-3. html](http://www.architectureweek.com/2003/1022/design%201-3.html)
8. <http://www.fosterandpartners.com/projects/uae-pavilion-shanghai-expo-2010/>
9. <http://www.hok.com/design/service/engineering/hamad-international-airport/>
10. [https://www.rigidized.com/exteriorscmt. php](https://www.rigidized.com/exteriorscmt.php)
11. a) [http://www.stainlessindia.org/UploadPdf/Dec%202011%20wshop%20Part-I. pdf](http://www.stainlessindia.org/UploadPdf/Dec%202011%20wshop%20Part-I.pdf) b)
<http://www.wbdg.org/resources/cool-metal-roofing>
12. [http://www.constructalia.com/repository/transfer/en/01921518ENLACE_PDF. pdf](http://www.constructalia.com/repository/transfer/en/01921518ENLACE_PDF.pdf)
13. [http://www.rigidized.com/saveenergy. php](http://www.rigidized.com/saveenergy.php)
14. [http://www.stainlessindia.org/UploadPdf/Dec%202011%20wshop%20Part-I. pdf](http://www.stainlessindia.org/UploadPdf/Dec%202011%20wshop%20Part-I.pdf)
15. www.cambridgearchitectural.com/

4. 装饰

顺时针，从左上角开始：

1. 木头与不锈钢制的台阶（无特定地点）
2. 曲面钢丝网屋顶（路易斯安那州立大学）
3. 芬兰餐厅，透明房间隔断
4. 门把手





法国银行，法国巴黎⁴
建筑师：Moati -Rivière
镜面EN 1.4301 (AISI 304)



地铁站L5 E1 卡梅尔，西班牙巴塞罗那⁵

不锈钢编网墙板



巴塔利亚修道院，葡萄牙⁶

不锈钢网幕帘

开放区 36 %

重量 0.25 kg/m²

钢棒直径 0.05 mm.

钢丝捻距 h 0.13 x 0.13 mm.



家用窗帘/安全扶手⁷

不锈钢

开放区 44 %

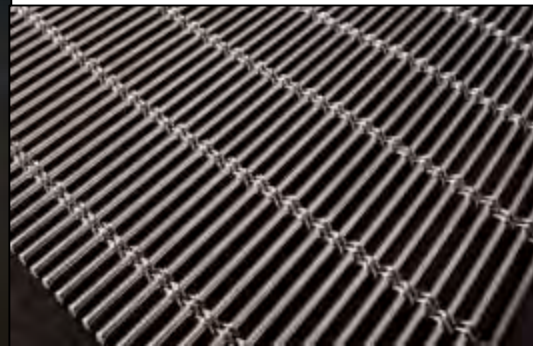
重量 5,2 kg/m²

钢丝绳直径 4 x 0.75 mm.

钢棒直径 1.5 mm.

钢丝绳最高捻距 26.4 mm.

钢丝最高捻距 3 mm.





当代艺术规划展博物馆，中国深圳（在建）
建筑师：蓝天组

装饰参考资料

1. http://www.seoic.com/cable_railing.htm
2. <http://cambridgearchitectural.com/projects/louisiana-state-university-lsu-student-union-theater>
3. <http://www.twentinox.com/projects/item/36/Transparent+stainless+steel+curtain+panels>
4. <http://www.uginox.com/fr/node/180>
5. <http://www.cedinox.es>
6. <http://www.archilovers.com/projects/58425/mosteiro-da-batalha.html>
7. http://www.theinoxincolor.com/portfolio_category/decorative-mesh-projects/
8. <http://www.coop-himmelblau.at/architecture/projects/museum-of-contemporary-art-planning-exhibition>

5. 不锈钢水暖



顺时针，从左上角开始：

1. 卫生管道
2. 压入管
3. 厨房水龙头
4. 带灯的花洒



不锈钢管道系统

不锈钢水暖参考资料

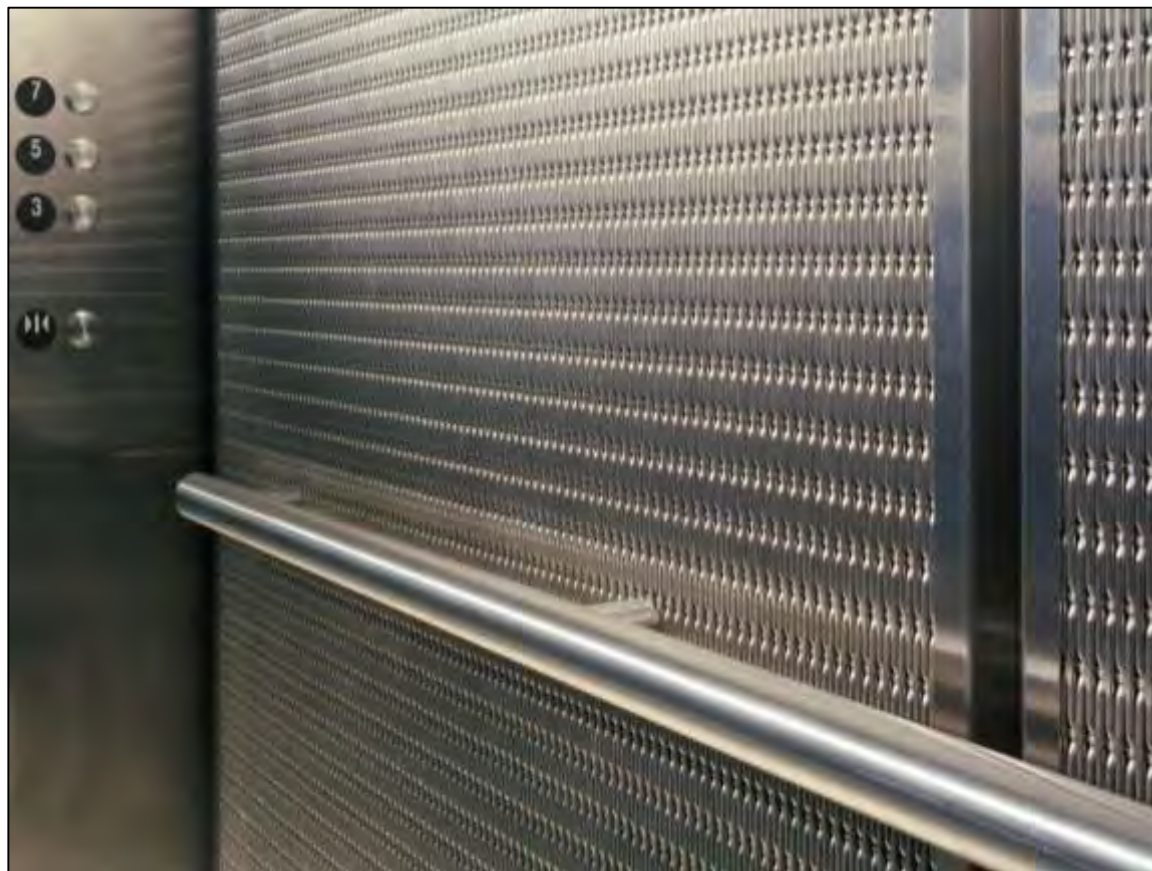
1. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/PressFittingSystems EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/PressFittingSystems%20EN.pdf)
2. [http://www.nickelinstitute.org/~media/Files/TechnicalLiterature/StainlessSteelPlumbing-color-EN 11019 .ashx](http://www.nickelinstitute.org/~media/Files/TechnicalLiterature/StainlessSteelPlumbing-color-EN%2011019%20.ashx)
3. https://nickelinstitute.org/library/?opt_perpage=20&opt_layout=grid&searchTerm=pipes%20for%20buildings&page=1
4. [http://www.bssa.org.uk/cms/File/BSSA%20PLUMBING%20P. 1-4. pdf](http://www.bssa.org.uk/cms/File/BSSA%20PLUMBING%20P.1-4.pdf)
5. https://www.grohe.de/de_de/badezimmer.html

6. 扶梯和直梯

从左上角顺时针旋转：

1. 电梯（无特定位置）
2. 扶梯（布拉格地铁）
3. 自动人行道（布鲁塞尔地铁）





网格覆层的电梯³



Kraainennest地铁站入口，荷兰阿姆斯特丹⁴

6. 扶梯和直梯

参考资料:

1. <https://www.forms-surfaces.com/elevator-ceilings>
2. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metro_bruelles_laufband.jpg
3. <http://cambridgearchitectural.com/projects/ft-lauderdale-hollywood-international-airport-rental-car-center>
4. <http://www.cabworks.com/>

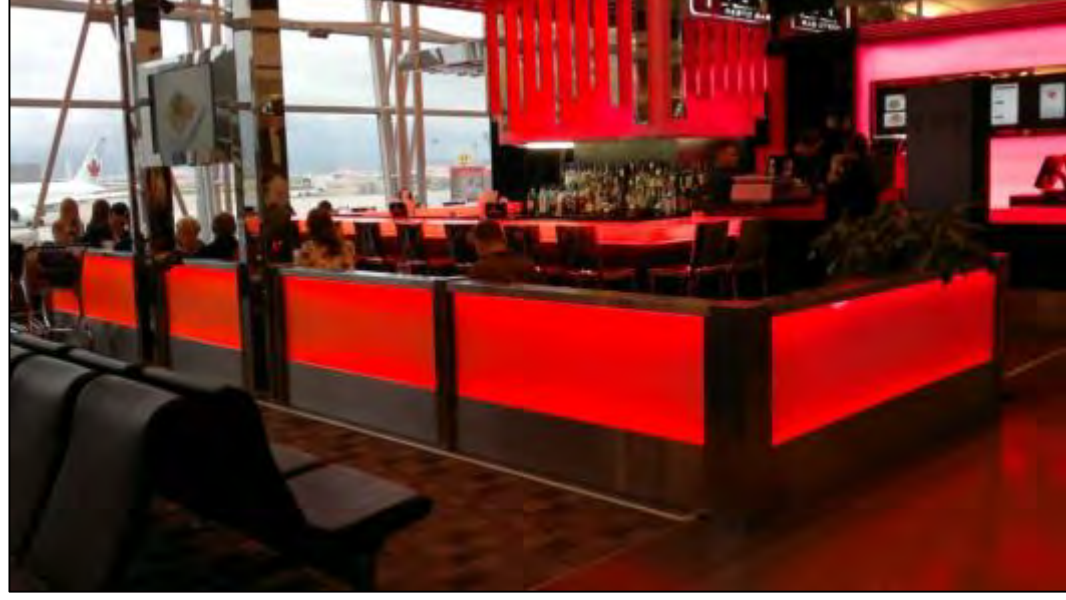
7. 机场

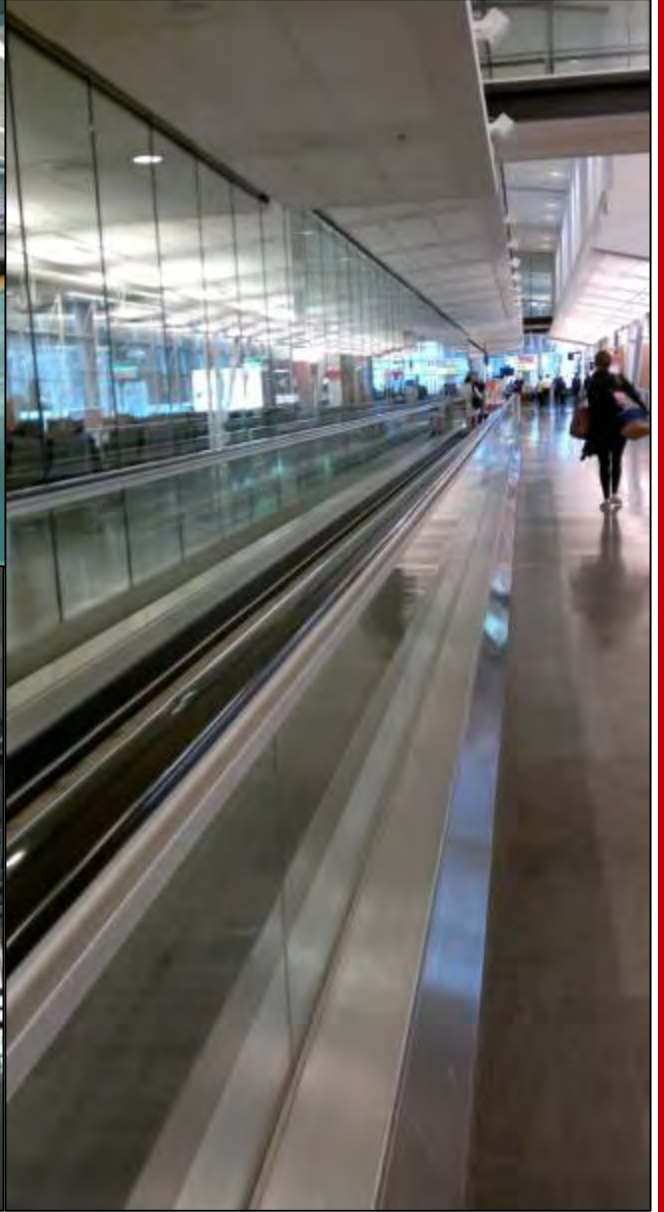
顺时针，从左上方开始：加拿大蒙特利尔机场的不锈钢设备

1. 登机柜台、栏杆和垃圾桶

2. 饮水喷泉

3. 吧台和搁脚板





机场参考资料

不锈钢的应用无处不在，因为它满足对材料的要求：每年能够被公众使用365天，但依然保持外观卓越：

- 屋顶
- 城市家具
- 计数器
- 饮水机
- 分离隔断
- 通风设备
- 扶手
- 电梯、自动扶梯、移动人行道
- 行李传送带
- 推车
- 紧固件
- 等等……

8. 城市户外家具



从左上角开始，顺时针：

1. 学校附近的围栏，韩国不当。牌号：STS439 / STS304 Finish: 2B / HL / 抛光
2. 扶手，西班牙Gijón。牌号316L，处理：抛光
3. 扶手，印度
4. 曼哈顿下城的南码头地铁站，Doug和Mike Starn对它的描述是“看到它的分裂，看到它的变化”



从左上角开始顺时针旋转：

1. 长椅，巴西Paulinia（SP），牌号：304 STS304 锻光处理
2. 蝴蝶长椅，墨西哥圣路易斯婆托西
3. 不锈钢网长椅，法国
4. 灯柱，韩国首尔。牌号：STS439 / STS304 / STS304N1 Finish: 2B / BA / 磨光



从左上角顺时针旋转：

1. 土耳其伊斯坦布尔巴士站。牌号：AISI304和AISI316，处理：2B / BA / 刷面处理 / 思高处理
2. 意大利阿尔本假的自行车架牌号：EN 1.4301 (AISI 304)
3. 新西兰惠灵顿雕塑《看不见的城市》
4. Joana Vasconcelos的雕塑作品：用不锈钢汤锅做的《玛丽莲》



城市户外家具参考资料

1. <https://www.worldstainless.org/applications/architecture-building-and-construction-applications/street-furniture/>
2. http://norcor.free.fr/piazza_superbe_inox.jpg
3. <http://listraveltips.com/wellington-street-art-stainless-steel-braille-sculpture/>

9. 修复



左图： 通往伦敦圣马丁教堂地下室的不锈钢入口

右图： 巴黎卢浮宫的不锈钢玻璃金字塔



维罗纳歌剧院，意大利

这座伟大的罗马纪念碑被誉为最为重要的露天歌剧院，年代可以追溯到公元前1世纪上半叶。修复工作在近期展开，包括对乐团就坐的中央下陷区域、地下室、地下污水隧道进行重新覆层。新的盖板由屋顶支柱和后张力拉杆支撑构成。后拉力系统使用了钢棒，以便保证结构的安全性、质量和耐久性。



罗马剧场，法国弗雷瑞斯

用打孔的3毫米厚的EN1.4571不锈钢来修复露天罗马剧场。



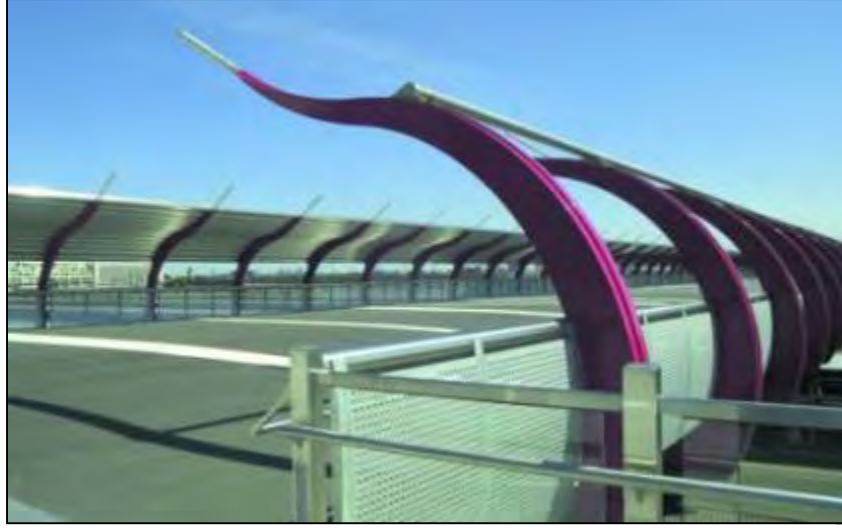
修复参考资料

1. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/New meets Old EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/New%20meets%20Old%20EN.pdf)

10. 体育场馆

顺时针，从左上角开始：¹⁻³

1. VIP入口扶梯，英国温布利球场
2. 旋转式栅门
3. 储物柜
4. 澳大利亚墨尔本伯克街到殖民地体育馆的步行桥上的不锈钢扶手和顶棚





亚穆纳体育馆，印度新德里⁴
建筑师：Peddle Thorb

为了举办2010年英联邦运动会，新德里修建了一座多功能体育馆。外墙由不锈钢网做成，闪闪发亮。体育馆象征了运动是通往人类现代、可持续互动的途径。不锈钢包层覆盖了53%的开阔场地，保护观众免受炙热的亚热带日晒。



卡斯特罗体育场，西班牙福塔莱萨^{5,6}

建筑师：Viglicca & Asociados

体育馆外墙全部使用了不锈钢压延板。除了外部框架，在贵宾区的栏杆、扶手，体育场的洗手间和门锁都使用了不锈钢。负责该项目的Ronald Felder说：“我们决定选择不锈钢，是因为它的耐久性对于外墙来说非常重要，它需要使用防腐材料，并且美观，这也是体育娱乐业的要求。”



安联球场公园帕尔梅莱斯体育馆，巴西圣保罗7
建筑师：Edo Rocha Arquitetura

它是全球最美的圆形体育馆之一。外墙大量使用了不锈钢。不锈钢板上有小孔，便于空气流动。



媒体幕墙，里尔体育场，法国⁸

建筑师：Valode Pistre and Ferret

不锈钢网媒体幕墙

不锈钢网支撑着高功率、多变的LED灯光系统，可以定制各种光效，从简单图案到视频内容都可以播放。

体育馆参考资料

1. http://www.cmf.co.uk/products/products.asp?id=92&product_id=4
2. <http://www.assda.asn.au/blog/223-stainless-welcome-for-sports-fans>
3. <http://www.controlledaccess.com/>
4. <https://gkd-india.com/metalfabrics/yamuna-sports-stadium>
5. <http://www.vigliecca.com.br/en/projects/castelao-arena#gallery;%20>
6. <http://www.copa2014.gov.br/en/noticia/see-details-castelaos-architecture-project>
7. <http://edorocha.com.br/portfolio/allianz-parque/>
8. <https://www.osram.com/ls/projects/grand-stade-lille/index.jsp>

11. 游泳池

从左上角顺时针分别为：

1. 奥运会规格、内衬不锈钢游泳池，法国维希
2. 定制的不锈钢屋顶水疗池
3. 不锈钢扶手





不锈钢水滑道

该滑道由单根流线型曲线建成，位于曲线的下端的台阶能把游客带到滑道的上端。然后滑道会自己松动并旋转。为了产生更好的对比效果，设计师在内部使用了镜面抛光的不锈钢，外部使用了拉丝不锈钢。

英国设计师解释说：“镜面抛光不锈钢即便在日照环境下，也不会摸起来过热”。实际上，它不像其他金属那样容易氧化，因此能够反射太阳光和热能。

游泳池参考资料

1. <http://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/french-pool-liner-article.php>
2. http://www.constructalia.com/repository/transfer/fr/02163065ENLACE_PDF.pdf
3. <http://www.awt-eisleben.de/en/swimming-pools-136.html>

谢谢您！

建筑 / 土木工程发言人的幻灯片

第二章

应用 - 基础设施

内容

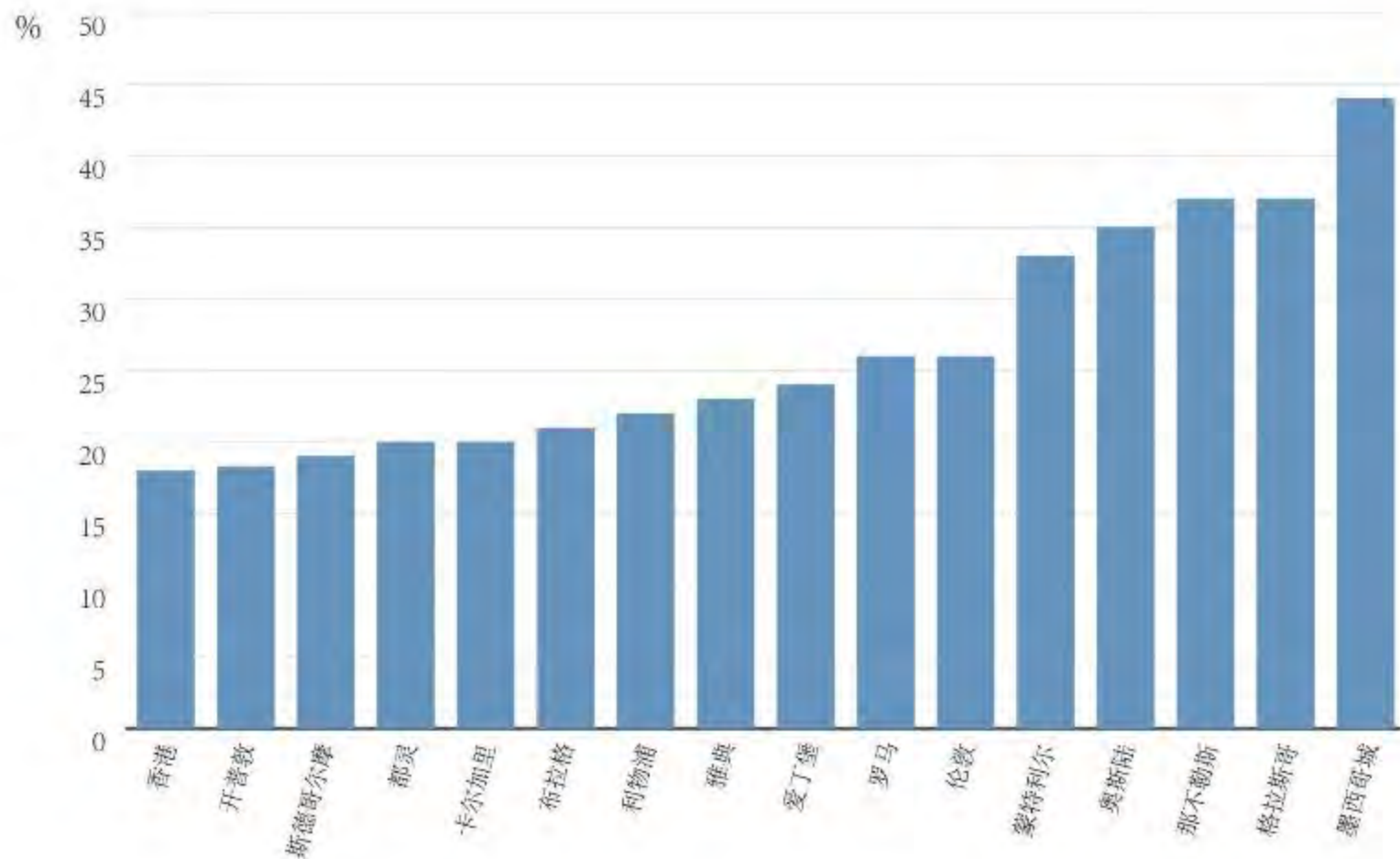
1. 游泳池
2. 桥梁
3. 海防

1. 配水

为什么要使用不锈钢？

- 低泄漏率：不锈钢不像延展性铁或钢那样会遭受均匀腐蚀，引起管道故障或破裂。不锈钢阀门永远不会卡死。如果设计得当，不锈钢输配水管道即便在地震频发区也会安全运行。
- 卫生：不锈钢在饮用水中是非常稳定的，可以保证水质和饮水安全。
- 延长使用寿命：由于其出色的耐腐蚀性，不锈钢部件的使用寿命可以长达100年。它们不需要任何涂层或任何电化学保护，可以抵抗大多土壤中的腐蚀。
- 可回收：和水泥内衬或非金属管道不同，不锈钢非常容易回收，其合金成分也具有很高价值。
- 不锈钢可用于新的大容量水库，也可以用于现有水库改造中。

一些主要城市的漏水率（2014）⁸

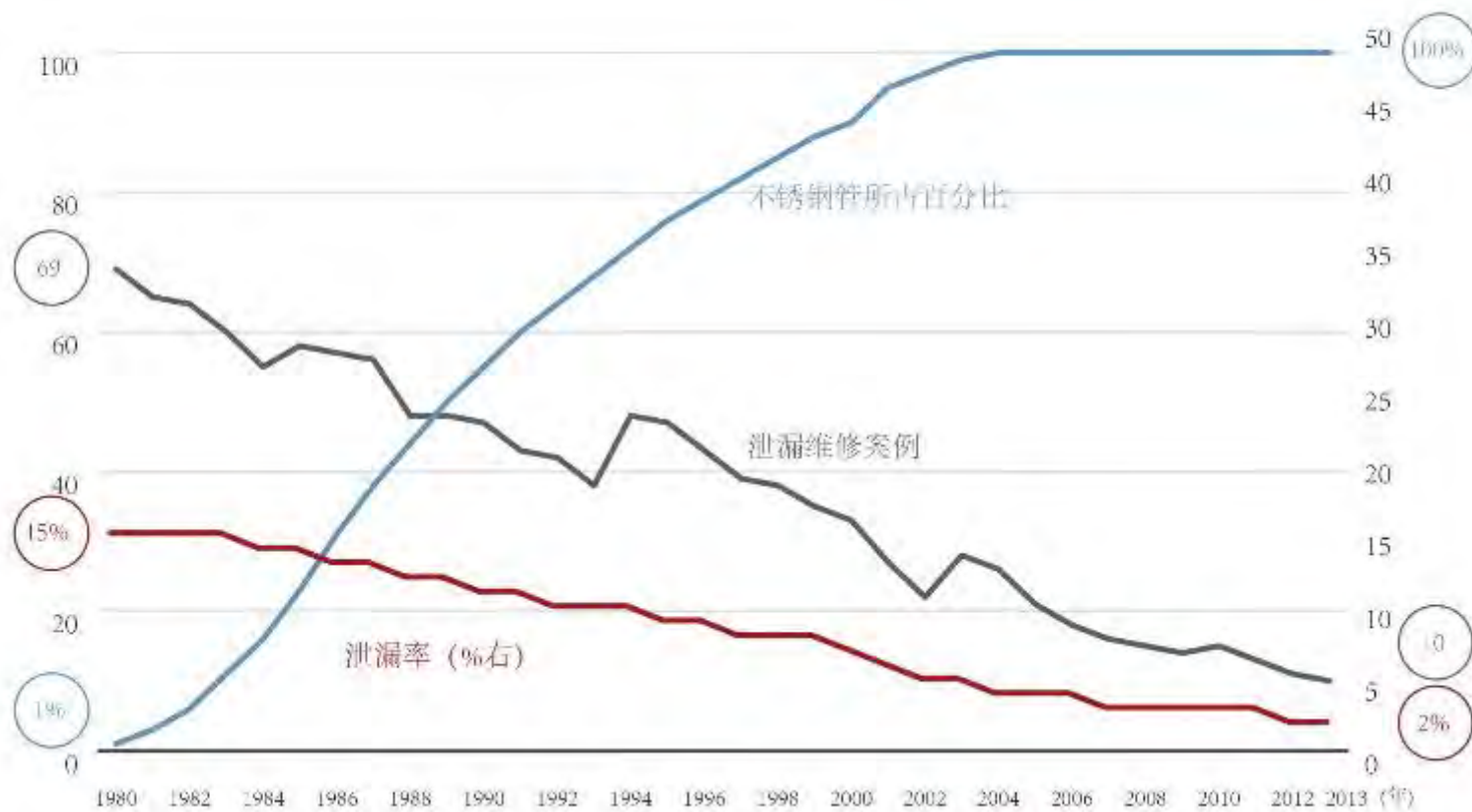


主要城市漏水率

来源: OECD (城市水务治理, 2014年)

减少漏水 vs 东京不锈钢水管的使用

减少泄漏



用不锈钢替代旧水管来减少漏水⁸

东京、首尔和台北项目的测试结果



东京



首尔



台北







修复前的水库，韩国江陵市⁹

图片上可看到混凝土的腐蚀和损坏引起漏水。

环氧涂层因其不持久而不被采用。

因为不锈钢具备良好的耐腐蚀性、耐久性，无需维护以及不滋生细菌等特性，因此被选做内衬来加固旧有管道。



之前

和加了新的不锈钢内衬之后一样

使用了STS329LD和
STS329J3L双相不
锈钢

面板焊接在一起后，
锚定在混凝土中



之后

配水参考资料

1. <http://www.nickelinstitute.org/en/NickelUseInSociety/MaterialsSelectionAndUse/Water/Distribution.aspx>
2. [http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Stainless Steel Pipe.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Stainless%20Steel%20Pipe.pdf)
3. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/Cutler water EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/Cutler%20water%20EN.pdf)
4. [https://www.worldstainless.org/Files/ISSF/non-image-files/PDF/ISSF Stainless Steel in Drinking Water Supply.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/ISSF/non-image-files/PDF/ISSF%20Stainless%20Steel%20in%20Drinking%20Water%20Supply.pdf)
5. <https://worldstainless.org/applications/applications-for-the-protection-of-the-environment-and-human-health/protection-of-water/>
6. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/CorrResist SoilsConcrete EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/CorrResist%20SoilsConcrete%20EN.pdf)
7. [https://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/FieldCorrosionResistanceTestOnStStPipingForBuildingService 12012 .pdf](https://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/FieldCorrosionResistanceTestOnStStPipingForBuildingService%2012012.pdf)
8. <https://worldstainless.org/applications/applications-for-the-protection-of-the-environment-and-human-health/protection-of-water/> - [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF A workable solution Chinese.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF%20A%20workable%20solution%20Chinese.pdf)
9. 来源：韩国浦项制铁 (<http://www.posco.com>)

NEW!

2. 桥梁

NEW!

很多桥梁现状很差

- 很多桥梁都是在二战之后修建的
- 预计60年以上的寿命
- 交通量一直比预测的要大
- 经常性的削减维护成本

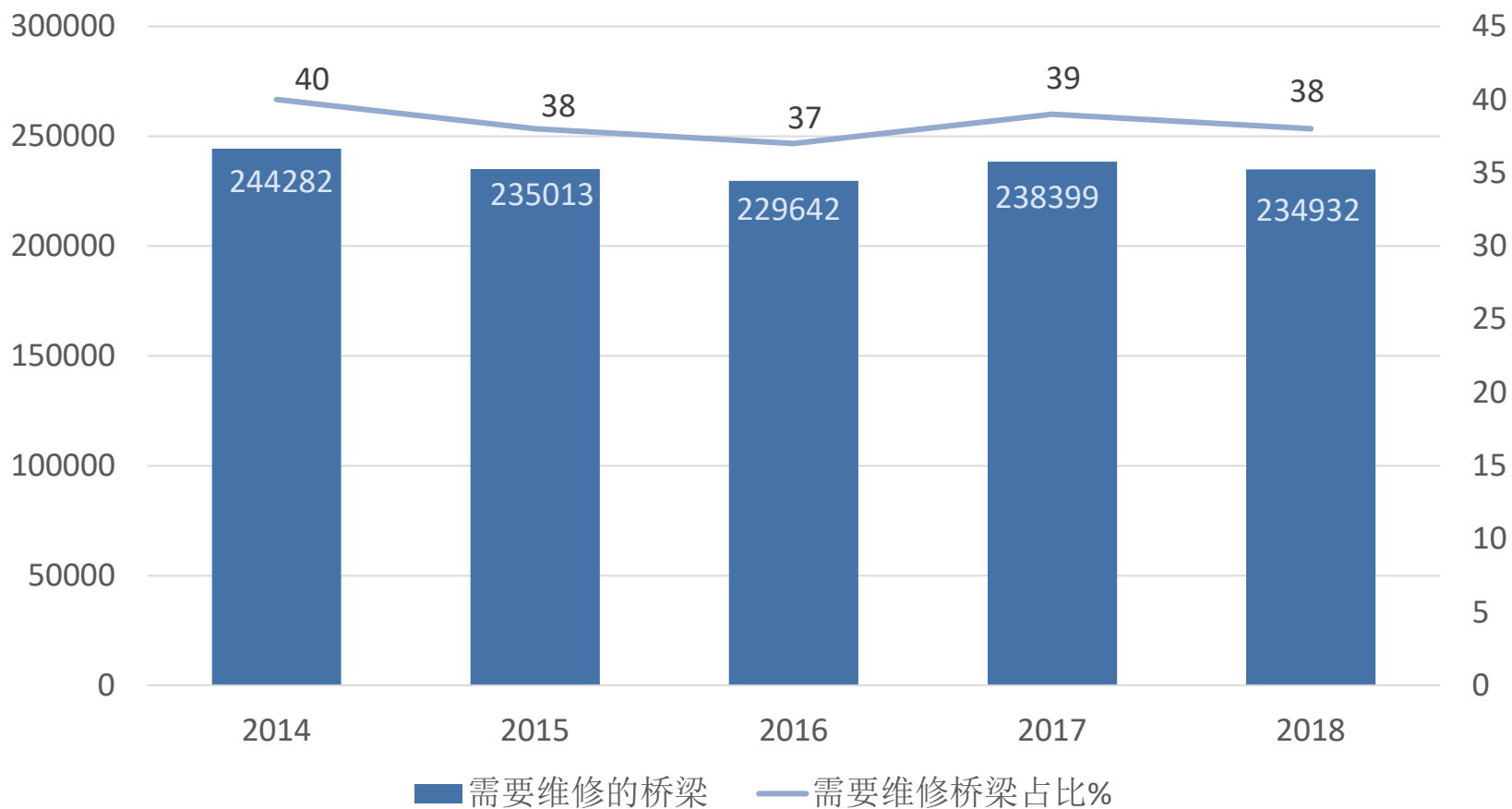
NEW!

欧盟的状况

- 没有发布全面报告
- 因国家而已
- 德国：德国高速公路桥中12.5%状态良好，12.4%状态很差
- 法国：最近的一份报告认为1/3的桥梁状况不佳
- 等等……

美国的状况

美国需要更换或修复的桥梁数量， 包括有结构缺陷的桥梁



NEW!

桥梁用不锈钢

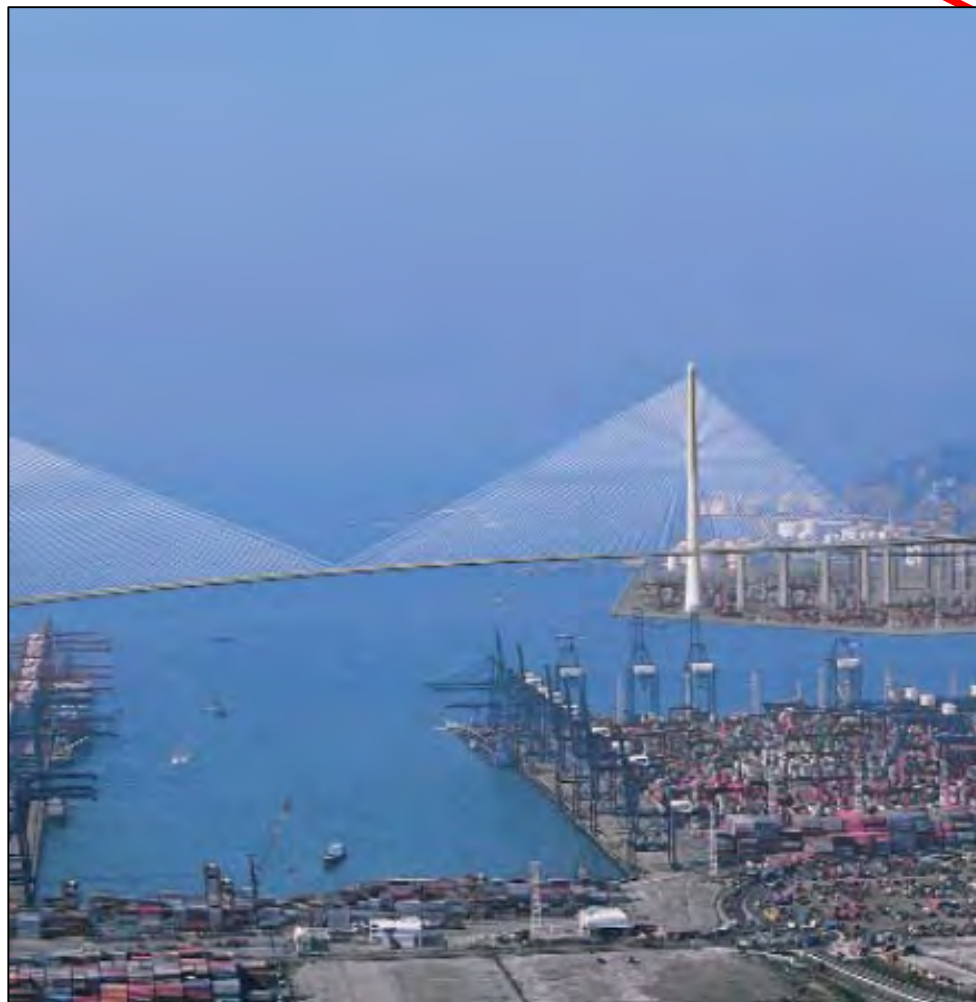
案例分析

NEW!

香港昂船洲

这座交通拥挤的标志性桥梁位于市区，设计上能够耐热带气候条件、城市污染、海雾、海风、台风，船舶撞击和地震荷载所产生的意外负荷等因素。这是当时（2009年）第一座跨度超过1公里的斜拉桥，预计使用寿命为120年。

塔架上部混凝土的包层、斜拉锚固，塔架地基和下部都使用了双相不锈钢UNS S32205（EN1.4462）。



NEW!



蒙特利尔尚普兰

新桥（2019年建）会取代因腐蚀而失效的旧桥。它能够抵抗严峻的、温度低至 -25°C 高达 30°C 的冻融循环。新桥长达3.4公里，横跨圣劳伦斯河和海道，每年将运载5000多万辆汽车。新桥拥有一条四车道的高速公路，一条通勤铁路线，自行车道和观景台。桥结构的关键部位使用了超过15000吨的S32305（EN1.4362）号钢。

旧桥于1962年投入使用。虽然经历了广泛维修，但仍然必须更换。新桥耗资约42亿加元。此外，旧桥拆除也需要4亿加元。

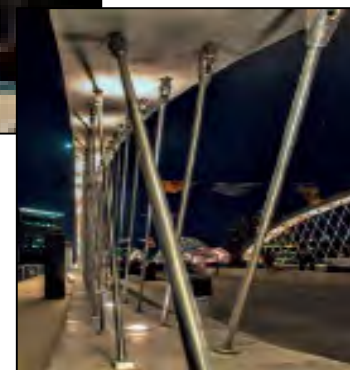
NEW!



珠港澳大桥

这座桥是50公里长连接线的一部分，这条连接线由三座斜拉桥、一条6.7公里的海底隧道和三个人工岛组成。大桥修建耗时9年，耗资约200亿美元，寿命100年，并于2018年竣工。在关键区域使用了1万多吨的双相钢。

NEW!



德克萨斯州沃思堡

这是全球首座由预制件建成的拱桥，总共有12个预单元构成，于2013年完工。其创新之处在于，拱桥上下端是用角架立钢筋连接起来的。具有很好的稳定性和结构性能。

钢筋使用了S32205（EN1.4462）号钢。整体设计结构上非常高效优雅，能保证长期耐用性。

NEW!



梅诺卡岛卡拉吉尔达纳

这座不锈钢桥于2005年投入使用，替换了原有的碳钢筋混凝土结构。

之所以没有选择碳钢，而是S32205 (EN1.4462) 双相钢，是因为后者具有更好的机械性能和耐腐蚀性。其额定最小屈服强度是460Mpa，测量值为535Mpa，而碳钢的额定屈服强度只有355Mpa。

NEW!



新加坡双螺旋桥

其独特的双螺旋结构长达280米，支撑着一条人行道，由S32205（EN1.4462）号双相钢管和钢板制成。选择该牌号钢是因为它具有卓越的强度及热带海洋环境耐腐蚀性。其生命周期成本低于碳钢方案。夜晚，不锈钢抛光表面增强了白光效果，显得格外美丽。

NEW!



法国里昂

这座双相钢制人行天桥位于里昂的重振区，毗邻新建的汇流博物馆。当船只进入码头时，天桥可以打开让它们通过。它的外观优雅美丽，不需要维护。

NEW!



德国通快

这座横跨交通拥堵的Gerlinger Strasse的人行桥连接了德国迪青根通快总部的两个办公点。它采用强耐腐蚀性的S32205 (EN1.4462)号钢制成，经通快激光技术切割，薄而结实，它的形状非常有特点，令人过目难忘。它证明了双相钢不仅仅可以用于标志性结构。

NEW!



加州圣迭戈港

这座自锚式悬挂结构长168米，非常漂亮。弧形桥面由固定在倾斜单塔的斜拉索所支撑，整个设计简洁优美。桥梁结构部件、栏杆、拉索和连接件选用了双相钢S31803和奥体钢317L。预计在这样的海洋环境中使用寿命将超过100年。

NEW!



墨西哥普雷哥雷索码头

左边是1970年建造的墩台残骸。碳钢钢筋受到海洋环境的腐蚀，导致墩台结构坍塌。

右边挨着的码头是1937-1941年建好的使用了304号钢的钢筋，这种钢筋无需维护，仍能保持原初状态。

NEW!

现有桥梁状况参考资料

1. <https://www.theguardian.com/world/2018/aug/16/bridges-across-europe-are-in-a-dangerous-state-warn-experts>
2. <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/keeping-european-bridges-safe>
3. <https://www.thelocal.de/20180815/bridge-collapse-cannot-be-ruled-out-in-germany-says-expert>
4. https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Ingenieurbau/Statistik/statistik-node.html
5. https://www.lemonde.fr/securite-routiere/article/2018/08/15/un-pont-sur-trois-a-besoin-de-reparations-sur-les-routes-nationales-francaises-selon-un-rapport_5342799_1655513.html
6. <https://edition.cnn.com/2019/04/02/us/deficient-bridge-report-2019-trnd/index.html>
7. <https://artbabridgereport.org/>
8. <https://www.infrastructurereportcard.org/cat-item/bridges/>

NEW!

不锈钢桥梁参考资料

1. IMO A网站出版物：《车辆、铁路和人行天桥中的不锈钢》（2018年3月）
<https://www.imoa.info/stainless-solutions/archive/37/Vehicular-rail-and-pedestrian-bridges.php>
2. C Houska 《双相钢和桥梁的更多信息》，施工说明，（2015年5月）
<https://www.constructionspecifier.com/duplex-bridges/>
3. 欧盟出版物报告《在腐蚀环境中，双相钢在焊接桥梁建设中的应用》（2009年3月）
ISBN 978-92-79-09948-9 <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ec2748d4-3269-43cd-9a34-3a0elfba4e23/language-en/format-PDF/source-79161265>
4. 欧洲不锈钢发展协会刊物《不锈钢人行天桥》 ISBN 2 87997 084 9
<https://www.bssa.org.uk/cms/File/Euro%20Inox%20Publications/Pedestrian%20Bridges.pdf>
5. N. Baddoo and A. Kosmač 《可持续的双相钢桥梁》，欧洲不锈钢发展协会
[www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Sustainable Duplex Stainless Steel Bridges.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Sustainable_Duplex_Stainless_Steel_Bridges.pdf)
6. 《沿着天际线航行的圣迭戈的新海港大桥》（2012年6月）
<https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/pedestrian-bridges.php>

NEW!

不锈钢桥梁参考资料

7. K F. Hansen, L. Lauge and S. Kite: 《昂船洲大桥——设计细节》（2004年1月）
DOI: 10.2749/222137804796291719
https://www.researchgate.net/publication/233611421_Stonecutters_Bridge_-_Detailed_Design/link/59ce24d3aca272b0ecla4b34/download
8. 钢铁建筑协会出版物: 《昂船洲桥塔》(2010)
https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/Structural/Stonecutters_bridge_towers_Chinese_version.pdf
9. G. Gedge: 《双相钢提高桥梁建设的耐用性》（2007年1月）DOI:
10.2749/222137807796119771
https://www.researchgate.net/publication/233632633_Use_of_Duplex_Stainless_Steel_Plate_for_Durable_Bridge_Construction
10. 蒙特利尔镍学会杂志: 尚普兰桥, Vol. 34, N° 2, (2019)
<https://www.nickelinstitute.org/nickel-magazine/nickel-magazine-vol34-no2-2019/?lang=English&p=6>
11. 蒙特利尔不锈钢世界在线: 尚普兰桥 (2016年1月5日) <http://www.stainless-steel-world.net/news/58262/nas-to-supply-stainless-steel-bar.html>
12. 港澳大桥, ISSF出版物: 《基础设施用不锈钢》
https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Infrastructure_English.pdf

NEW!

不锈钢桥梁参考资料

13. 珠港澳大桥
https://en.wikipedia.org/wiki/Hong_Kong%E2%80%93Zhuhai%E2%80%93Macau_Bridge
14. IMO A刊物 “[novative bridge at Ft Worth, Texas](https://www.imoa.info/molybdenum-media-centre/downloads/)” Moly-Review 1/2018
<https://www.imoa.info/molybdenum-media-centre/downloads/>
15. Steel Construction Institute publication: “Cala Galdana Bridge” (2010)
http://www.worldstainless.org/architecture_building_and_construction_applications/structural_applications
16. 印度铁路大桥 <https://www.apnnews.com/pamban-to-become-indias-first-railway-bridge-to-use-stainless-steel-structurals/>
17. 钢铁建筑研究所刊物: 《双螺旋人行桥》(2011)
<https://www.worldstainless.org/applications/architecture-building-and-construction-applications/structural-applications/>
18. ISSF刊物: Publication: 《建材用不锈钢: 开合式人行吊桥》
https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_as_an_Architectural_Material.pdf
19. 通快人行桥 <https://www.outokumpu.com/en/choose-stainless/2018/case-pedestrian-bridge-at-trumpf-headquarters>
20. IMO A刊物: 《沿着天际线航行的圣迭戈新海港大桥》 MolyReview (2012年6月)
<https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/pedestrian-bridges.php>

NEW!

3. 沿海工事

全球37%的人口居住在沿海100公里范围之内

NEW!

气候变化与海岸

后果如下：

- 海洋以每年约3毫米的速度上升…… 而且是不可逆的！ 一些土地已经（或者将被）淹没
- 极端气象事件更加频繁（例如5级飓风、超级台风等），加剧对海岸的破坏
- 沿海生态系统受到破坏或经历其他重大变化
- 人口以及人类活动受到巨大的人力和经济成本的威胁。

洪灾（法国西南部）

NEW!



沿海地区受到破坏（地址不详）

NEW!



NEW!

沿海适应方案

- 有计划撤退（例如：可移动的结构、内陆防洪、洪水预警系统）
- 适应措施（例如：水库搬迁、沙丘管理、雨水/废水管理）
- 保护措施（包括海岸工程师用来稳定海岸线的各种技术，包括诸如海滩养护等软技术，以及诸如海堤、护岸和防波堤等硬件结构）

NEW!

一些使用不锈钢的防护结构

NEW!



英国克罗默海堤

克罗默（Cromer）是维多利亚时代美丽的北诺福克海滨度假胜地。沿岸修建了混凝土防波堤和木材防波堤来抵御海水。

在2013年的一场大风暴之后，为了维持实际的防御水平，并预防未来100年的海平面上升，对海堤进行了大规模昂贵的维修。

这个项目使用了超过300MT的S32304（EN1.4362）双相不锈钢钢筋

法国巴约讷防波堤

NEW!

建于1960年代的防波堤保护着巴约讷（Bayonne）港口的入口处免受风暴侵袭。它由一堵堤墙和一个宽度和强度足以承受重型吊车的平台组成。吊车取代了40吨重的混凝土砌块，在海浪冲到岸边时，这些混凝土砌块能分散衰退海浪的剩余能量。

由于平台本身开始出现裂缝，因此用S32205（EN1.4462）高强双相钢筋（屈服强度小于750Mpa）对其进行了修复，堤坝自重大大减少。最终只需要130吨钢筋。



NEW!

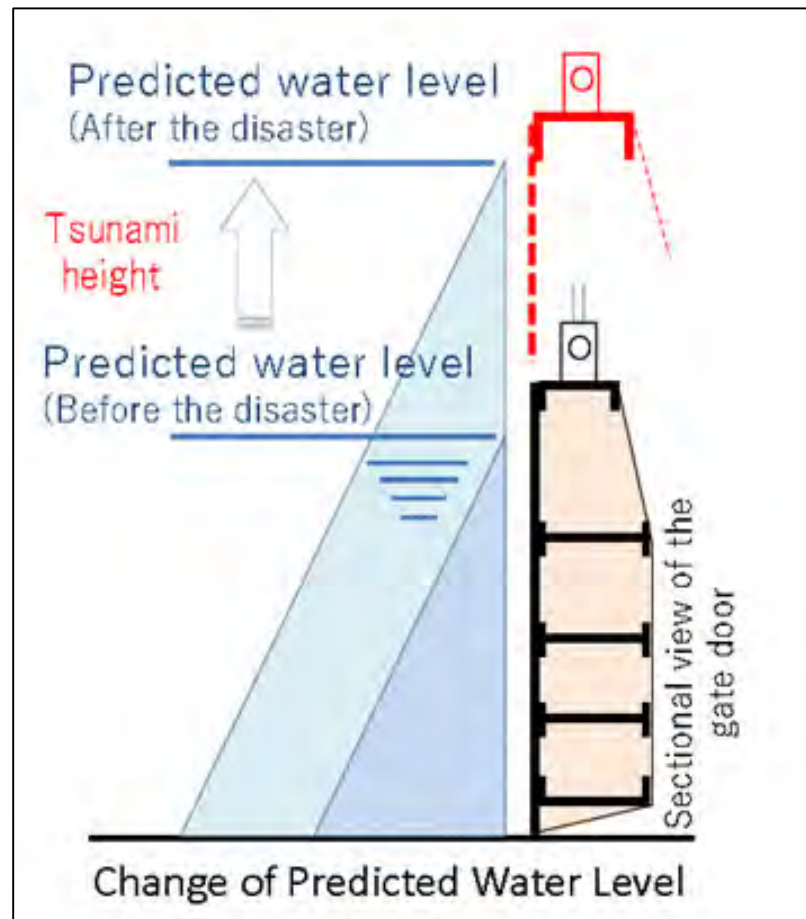
日本的安全措施

对灾后重建和国家抗灾力的贡献

2011年3月的“日本东部大地震”导致将近16000人死亡，其中90%的人死于海啸，这个比例异常高。

震后日本政府将水闸的高度规格从5m提高到了8m。高度升高导致水压上升，因此需要附加设计增强闸门的强度。

解决方案：日本制铁的不锈钢公司提议使用合金节约型的双相钢（ASDSS），一方面能够减轻其重量，同时可以通过强度来简化设计。



来源：日本制铁不锈钢公司

日本水闸案例

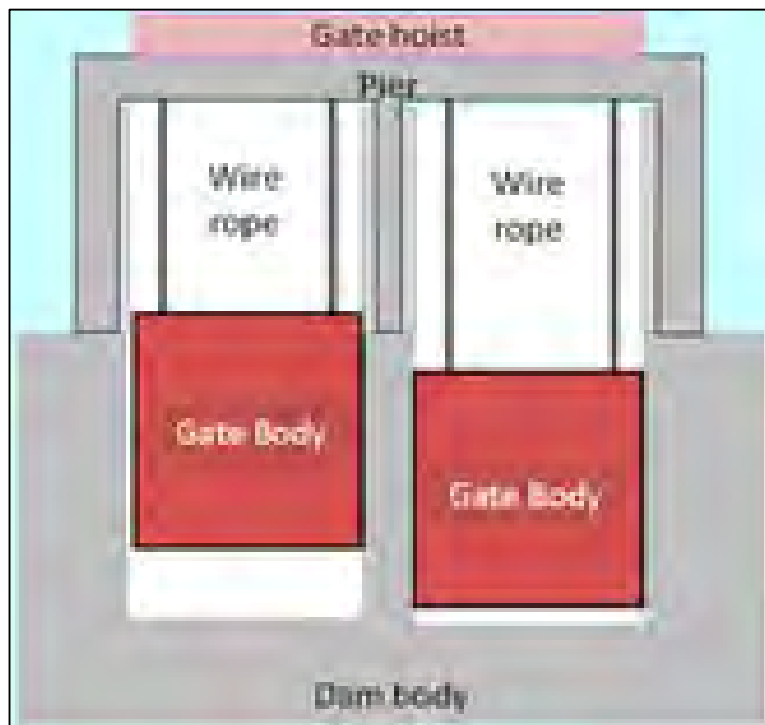


滑动闸门
高度8.2 m x 宽度 15 m



水闸
高度 6.2 m x 宽度 15 m

使用节约型双相钢来使水闸减重



设计比较
(水坝泄水闸)

7m x 7.8m = 54.6m²)

| 型号 | 碳钢 (SM490) | 传统不锈钢 (SUS 304) | ASDSS (NSSC2120) |
|----|-----------------|--------------------|---------------------|
| 总重 | 16.1 (t/ 闸门) | 14.7 (t/ 闸门) | 12.1 (t/ 闸门) |



减重25%

来源: 《电力土木工程》 (2016.9)

NEW!

日本某些重大项目

日本有50多个水坝和水闸使用了ASDSS钢，尤其是宅后重建的项目。



Kanogawa Dam (SUS821L1)
鹿川大坝 (SUS821L1)



Kotonoura Gate (SUS316LN)
Hikata Gate (SUS323L)

江戸水闸
日方水闸



Kosode Gate (SUS821L1)
小袖水闸 (SUS821L1)



Koishihama Gate (SUS821L1)
小石滨水闸 (SUS821L1)



■ : DAM
○ : Water Gate

水坝
水闸



neo Rise (SUS821L1)



Futase Dam (SUS821L1)
Futase 水坝 (SUS821L1)



Tsukihama Gate (SUS323L)
月滨水闸 (SUS323L)

NEW!

日本上平水闸



正在修建中的水闸

NEW!

法国圣米歇尔山



NEW!

法国圣米歇尔山

- 圣米歇尔山是法国最受欢迎的旅游景点之一。这座小岛坐落在海湾上，岛上有一个修道院，修道院的屋顶上站着一位天使。随着时间流逝，海湾地势逐渐升高，改变了原有景观。
- 修建闸门是为了在涨潮时蓄水，退潮时放水，因此海水会每天两次把沉积物带回海里。八套闸门金属覆层共使用了36吨S32205（EN1.4462）双相钢，因为它具有很好的耐腐蚀和耐磨性。
- 现在圣米歇尔山又能回归大海的拥抱了。

海上延伸的摩纳哥

位于地中海之滨的摩纳哥公国将其微小（大概2平方公里）的国土面积向海面进行拓展，以建造了一个巨大的60万平方米的新城市开发项目，预计耗资20亿欧元。

该项目在技术上的挑战是巨大的：首先要修一个临时水坝来圈地；再建一个可以使用100年的混凝土墙，然后在填海造出的空间里进行规划填充，同时做好准备修建多层住宅建筑，减少对海洋生物的影响等等。

混凝土墙将使用约4000MT的双相钢S32304（EN1.4362）钢筋来加固，以抵御海水的侵蚀。



NEW!

参考链接

1. <https://www.ipcc.ch/>
2. www.unfccc.int/resource/docs/tp/tp0199.pdf
3. <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/biodiversite/isr-rse/le-changement-climatique-grignote-nos-cotes-et-menace-plus-d-un-million-de-francais-147571.html>
4. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/adapter-documents-conception-entretien-exploitation>
5. <https://www.cerema.fr/fr/evenements/territoires-littoraux-transition-face-au-changement>
6. <https://www.unenvironment.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/working-regional-seas/coastal-zone-management>
7. 克罗默海堤 <http://www.stainlesssteelrebar.org/applications/coastal-protection-at-cromer-uk/>
8. 巴约讷防波堤 <http://stainlesssteelrebar.org/applications/bayonne-breakwater/>
9. <https://www.constructioncayola.com/batiment/article/2008/11/20/23050/1-inox-pour-resister-atlantique>
10. 日本防海啸防洪闸（NSSC出品）

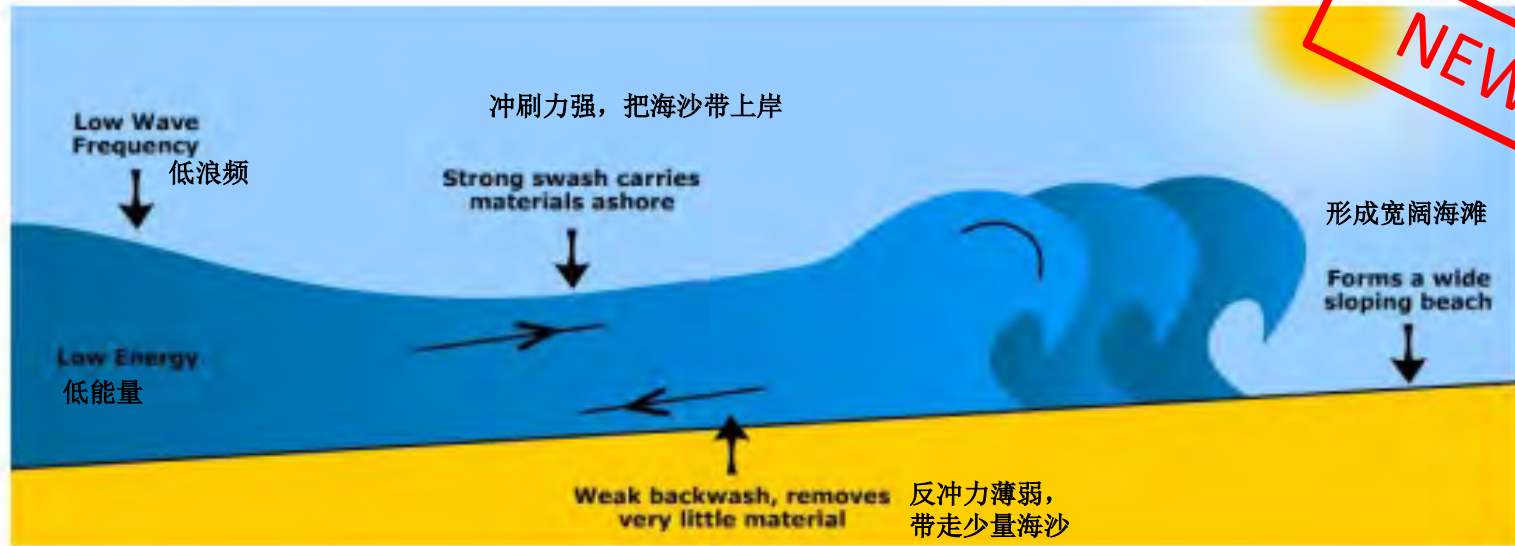
NEW!

参考链接

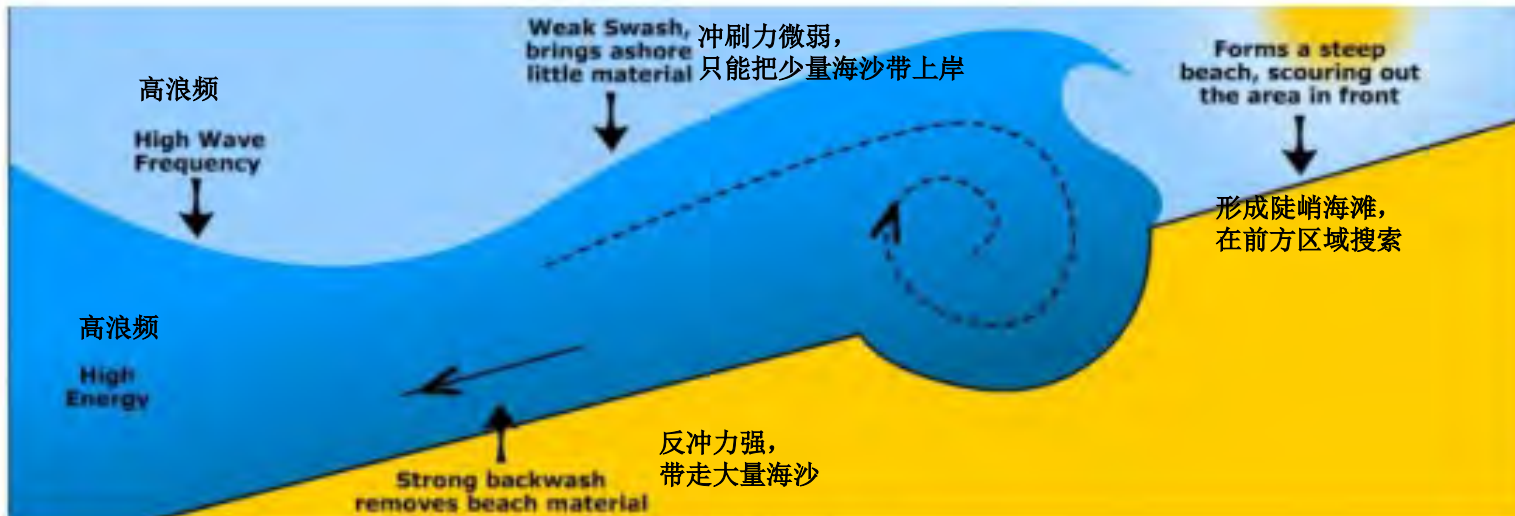
11. 圣米歇尔山水闸
<https://www.nickelinstitute.org/en/NickelMagazine/MagazineHome/AllArchives/2015/Volume30-3/InUseMontStMichel.aspx?selected=year>
https://europe.arcelormittal.com/europeprojectgallery/foi_montsaintmichel
12. Ta mo luo
<http://www.pratiwisteel.com/news/view/20110708090600/Outokumpu-Duplex-Stainless-Steel-For-Sluice-And-Flood-Gates-Structures-In-Finland.html> <https://www.pontek.fi/in-english>
13. 摩纳哥
<https://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/Extension-en-mer-de-Monaco.pdf>
14. 哥德堡Gårda Dämme防洪闸
<https://www.outokumpu.com/en/choose-stainless/2016/floodgates-to-fight-rising-sea-levels>
15. <https://coastal-environments.weebly.com/landforms-and-processes.html>

海浪对海岸线的构建与破坏¹

NEW!



建设性海浪



破坏性海浪

谢谢您！

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

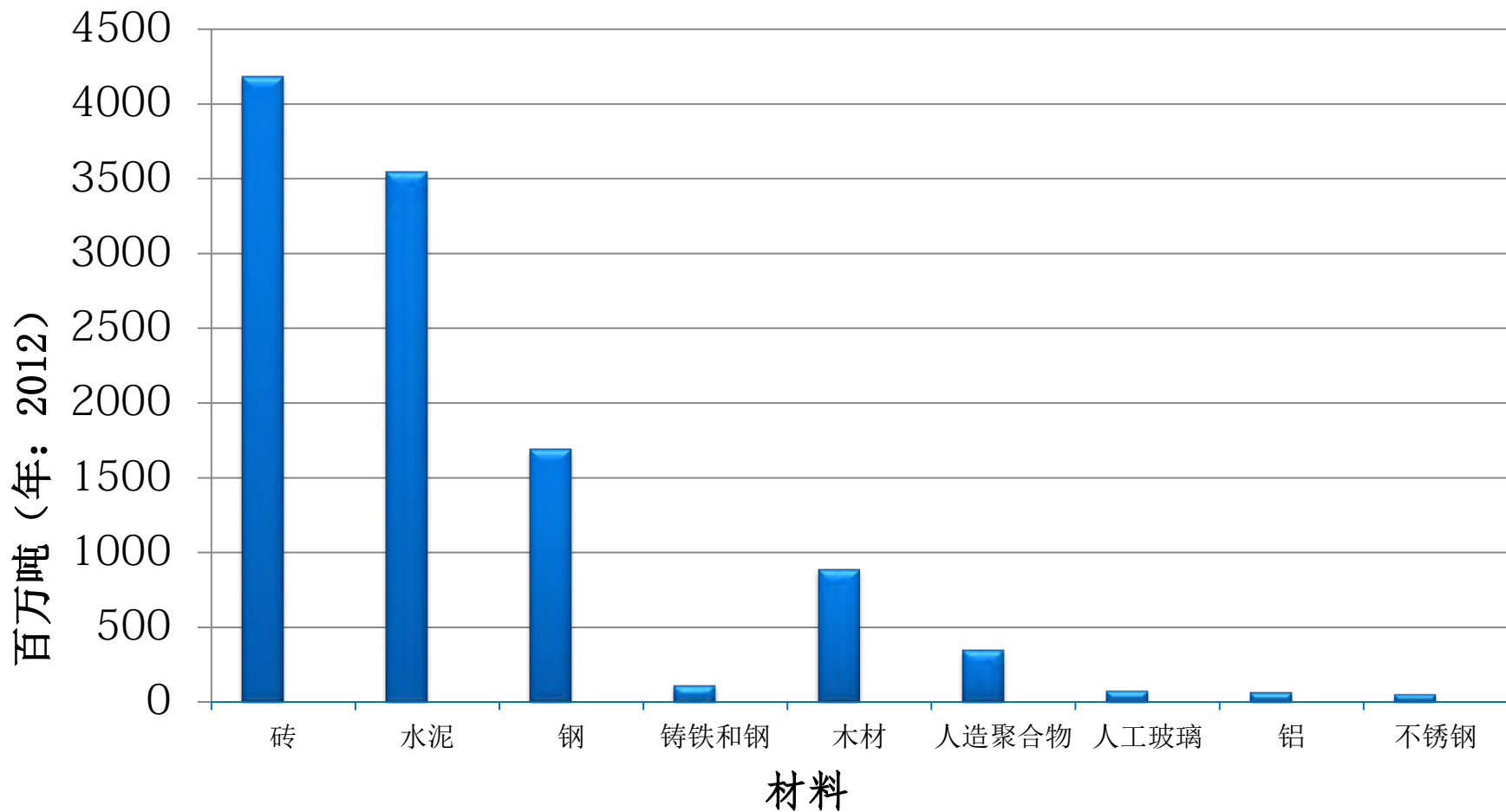
目前主要建筑材料的使用比较

| 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 ² | 4185 | 2, 0 | 应该是2017年 其中87%在亚洲 |
| 水泥 ³ | 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 ^{4a} | 1690 | 7, 8 | (2018年粗钢生产) 14%用于基础设施—螺纹钢 ¹⁰ 占一半 42%用于楼宇建设 |
| 铸铁与钢 ^{4b} | 110 | 7, 8 | 2016年数据 |
| 木材 ⁵ | 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 ⁶ | 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 ⁷ | 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 ⁸ | 64 | 2, 7 | (2018年原铝生产) 24%用于建设 ¹⁰ |
| 不锈钢 ⁹ | 51 | 7, 8 | 2018年数据 17%用于建设 ¹¹ |

na: 数据不可获取

*单位: 百万公吨

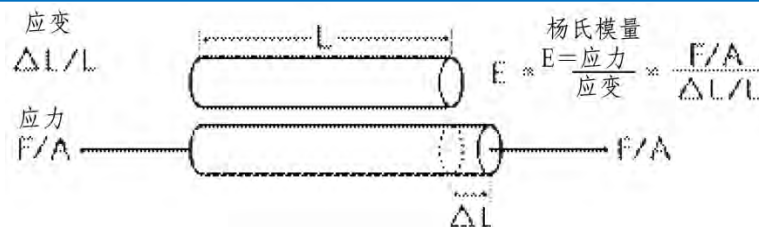
当前主要建筑材料的使用比较图：柱状图



不同材料的杨氏弹性模量¹²（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 ³) | 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 |

为什么使用不锈钢?

不同材料的简单概览¹⁴

| | | 不锈钢 | | | 铜 | 铝 | 碳钢 | 塑料 |
|------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|----|--------|----------------|
| | | EN 1.4521 AISI 444 | EN 1.4301 AISI 304 | EN 1.4401 AISI 316 | | | | |
| 物理性能 | 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 ¹⁵ | | 人类发展之处就已经开始使用！ |
| 砖 ¹⁵ | 7500 BC 4500 BC | 烧结砖 / 陶土 |
| 钢 ¹⁵ | 4000 BC 1858 | 铁匠铺 贝赛麦炼钢法 |
| 人造玻璃 ¹⁵ | 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 ¹⁵ | 1825 1886 | 奥斯特发现了铝 霍尔赫鲁特工艺 |
| 钢筋混凝土 ¹⁵ | 1850 1885 | 但是水泥历史更悠久 回转窑工艺 |
| 人造聚酯 ¹⁵ | 1846 1907 1939 | 前味素 胶木 尼龙 |
| 不锈钢 ² | 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²

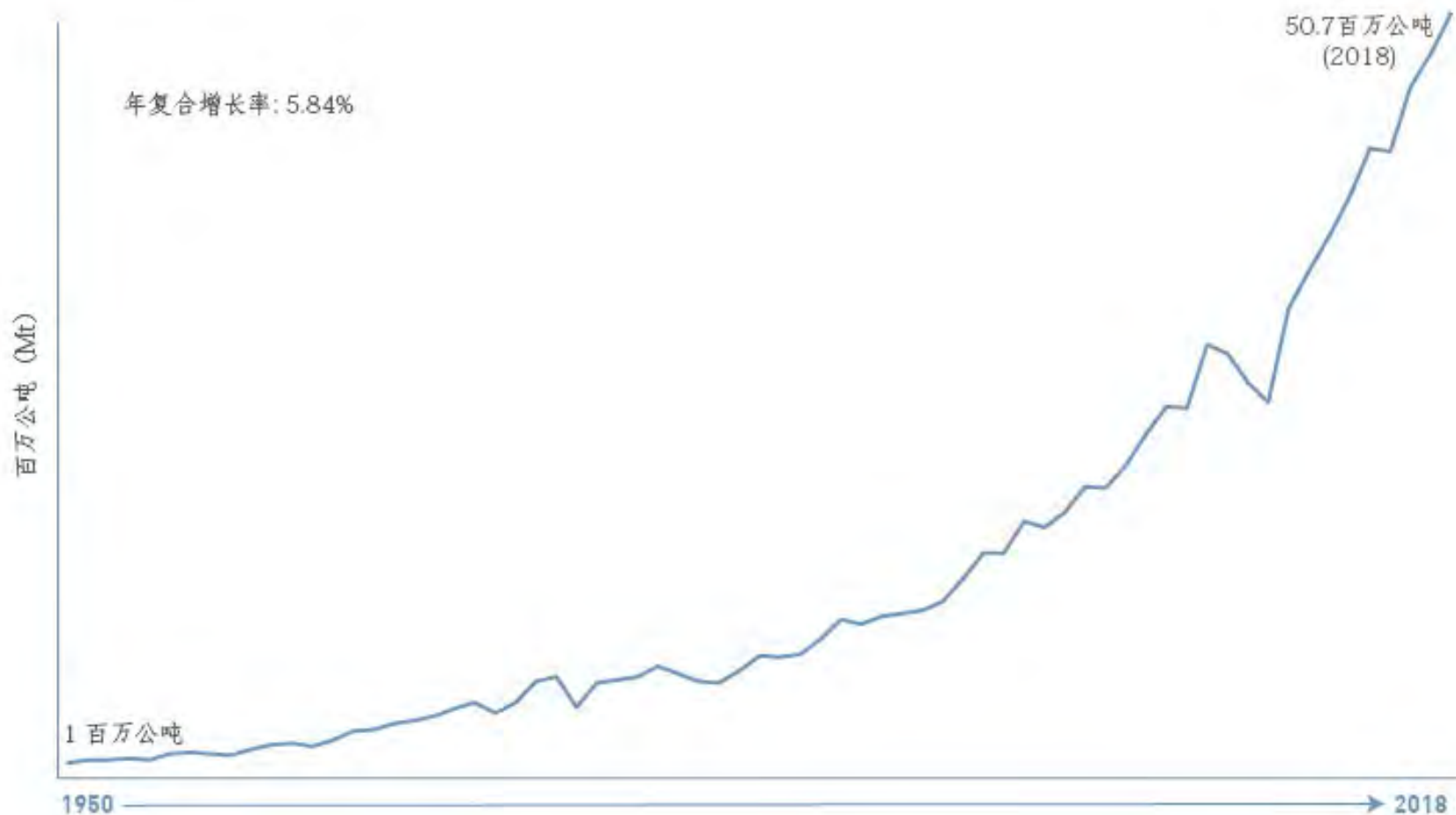
各地区不锈钢粗钢产量 (钢板/钢锭当量) (单位: 千公吨)
其他: 巴西、俄罗斯、南非、韩国、印度尼西亚

需求在不断增长



国际不锈钢粗钢产量年复合增长率 (钢板/钢锭当量)²²

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

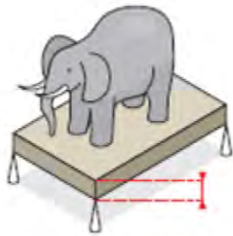
- 考虑整个生命周期成本（也就是“真正”的成本），也就考虑到所有因素，包括维修、服务周期和回收*
- 设计得以优化：将薄钢板加工成复杂形状可以在尽量节省材料的前提下，产生稳固、结实的结构。

* 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

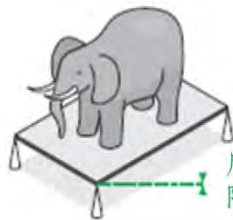
不锈钢（相比其它金属）的用料更少¹⁶

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

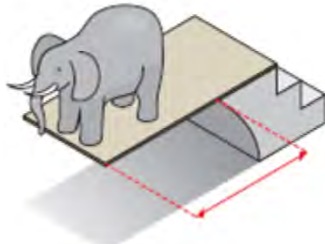


金属

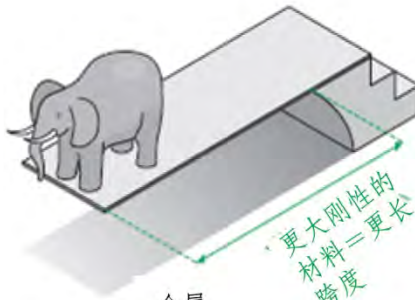
用材更少 = 降低厚度

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

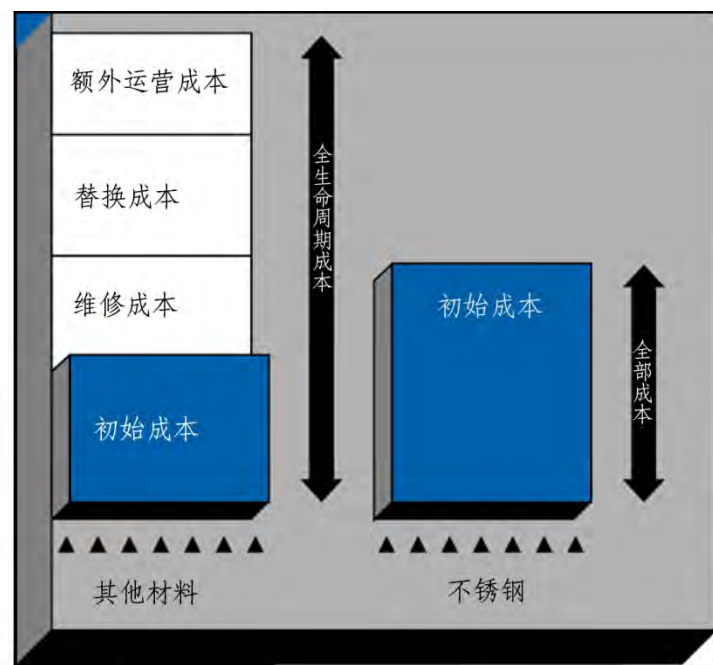
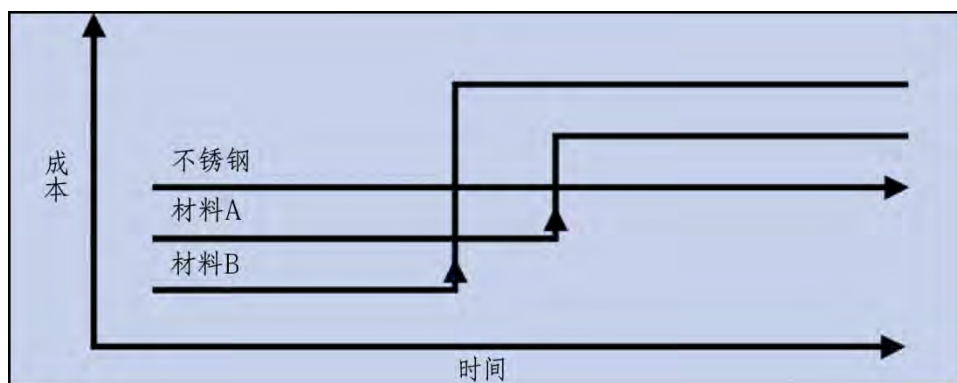
更大刚性的材料 = 更长跨度

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¹⁷

比较两座老建筑的生命周期成本^{18, 19}

| 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^{20, 21}

- 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。”²⁰

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。²¹

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
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.toureiffel.paris/en> b) <http://corrosion-doctors.org/Landmarks/Eiffel.htm>
19. a) http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Building b) 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%20Stainless%20Steel%20in%20Figures%202019%20Chinese%20public%20version.pdf)

感谢！

建筑 / 土木工程发言人讲稿

第四章

什么是不锈钢？

视频

百年不锈钢

<https://youtu.be/OgdZEruLYwo>



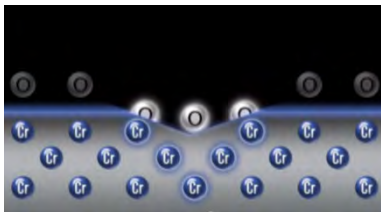
加入合金，提升价值

<https://youtu.be/L9kFExl1qFU>



自修复，提升价值

<https://youtu.be/ELOEvTnqIIY>



不锈钢是铁基合金，铬的含量至少有10.5%

表面氧化 (生锈)
> 20 μ m 厚度



< 11% 铬

表面钝化膜
~ 2nm 厚

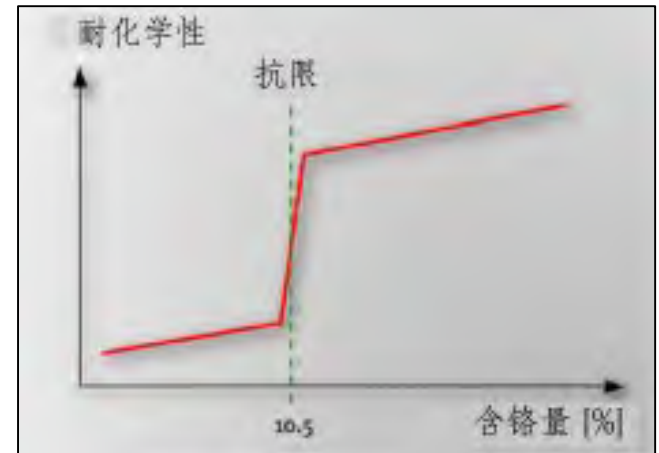


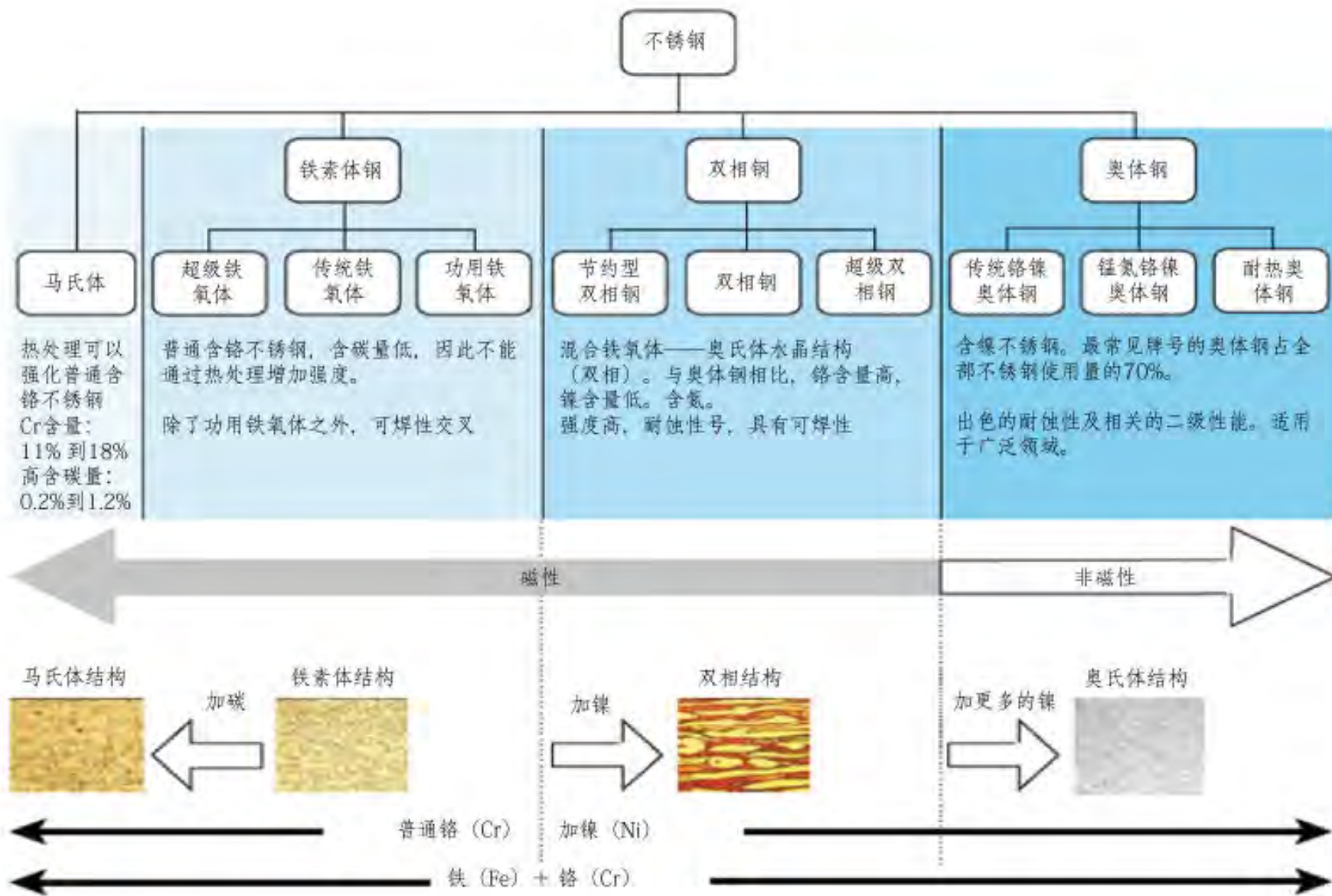
> 11% 铬

→ 抗腐蚀性

几分钟之内形成钝化膜

铬含量越高，钝化膜的有效性更强…… 但是还有其它影响耐蚀性的因素（参看第五章）





铬镍级（奥体钢）⁴

次类：

| | | | | |
|---------|----------------------|-------|--------------|-------|
| ▪ 铬-镍 | 典型EN 1.4301/AISI 304 | 铬: 18 | 镍: 9 | 铁: 平衡 |
| ▪ 铬-镍-钼 | 典型EN 1.4401/AISI 316 | 铬: 18 | 镍 10 Mo: 2.5 | 铁: 平衡 |

通用性能：

- 非常好的耐蚀性，随着合金含量的增高而增高
- ... 但是在氯含量高的环境下（例如游泳池），容易产生应力腐蚀开裂SCC。
- 在各种温度下（包括非常低的温度）都具有较高的延展性和耐冲击强度
- 冷加工会提升强度（但热处理不行）
- 很好的耐火性
- 很好的冷热成形性（延展性，延伸性）
- 易焊接（TIG, MIG）

目前最知名也是最常用的

颜色代码： ▪ 耐蚀性 ▪ 机械性能 ▪ 制造

铬等级（铁素体钢）⁶

次类别：

| | | | |
|-------|----------------------|---------------------|-------|
| ▪ 铬 | 典型EN 1.4016/AISI 430 | 铬: 17 | 铁: 平衡 |
| ▪ 铬-钼 | 典型EN1.4521/AISI 444 | 铬: 18 钼: 2 钛+镍: 0.4 | 铁: 平衡 |

通用性能：

- 对应力腐蚀开裂不敏感
- 良好的延展性（但不如奥体钢）
- 不适合特别低的温度
- 冷加工后多少会增加强度（但是热处理不行）
- 很好的冷成形能力：（回弹小，工具磨损低，但是延伸性低，因此需要与奥体钢不同的拉伸工艺）
- 级别稳定（即：含铅和/或噻）（TIG, MIG）

为多种应用提供最优的性价比，现在越来越多的得以使用

颜色代码： ▪ 耐腐蚀性 ▪ 机械性能 ▪ 加工

Cr 等级 (马氏体钢) ⁷

子类:

| | | | |
|-----------|---------------------|---------------------|--------|
| ▪ C-Cr | 典型EN1.4021/AISI 420 | Cr: 13 C:0.2 | Fe: 平衡 |
| ▪ C-Cr-Ni | 典型EN1.4057/AISI431 | Cr: 16 Ni: 2 C: 0.2 | Fe: 平衡 |
| ▪ 沉淀硬化 | 典型EN1.4542/AISI630 | Cr: 17 Ni: 4 Cu:4 | Fe: 平衡 |

通用性能:

- 不错的耐腐蚀性，合金含量越高，耐腐蚀性越强
- 热处理后强度增加（但冷处理达不到）。延伸性有限。
- 不适用于特别低的温度。
- 不适合成形，常用机械加工
- 具有可焊性（TIG, MIG），但是需要焊后热处理

被当作有耐腐蚀性的工程钢来使用

颜色代码： ▪ 耐腐蚀性 ▪ 机械性能 ▪ 加工

双相钢（奥氏体钢-铁素体）⁸

子类:

| | | | |
|------------|------------|--------------------|--------|
| ▪ Cr-Ni | 典型EN1.4362 | Cr: 23 Ni: 4 | Fe: 平衡 |
| ▪ Cr-Ni-Mo | 典型EN1.4462 | Cr: 22 Ni: 5 Mo: 3 | Fe: 平衡 |

常见性能:

- 优越的耐腐蚀性，随着合金含量增高而增高
- 对应力腐蚀开裂不敏感
- 高强度，良好的延展性
- 冷加工后强度加强（但热加工不能提升强度）
- 良好的冷热成形性能（延展性，延伸性）
- 可焊性（TIG, MIG）

提供最佳的耐腐蚀性和机械性能

颜色代码： ▪ 耐腐蚀性 ▪ 机械性能 ▪ 加工

物理性能^{9, 10}

| 材料 | 弹性模量 Gpa | 热膨胀系数 $10^{-6} \text{ } ^\circ \text{K}^{-1}$ | 导热系数 $\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ \text{K}^{-1}$ | 铁磁性 | 密度Kg/dm ³ |
|------------------|----------|--|---|-----|----------------------|
| Cr-Ni 奥体钢 | 210 | 18 | 15 | 不 | 7.8 |
| Cr-Mn 奥体钢 | 210 | 17 | 15 | 不 | 7.8 |
| Cr 铁素体钢 | 220 | 11 | 23 | 是 | 7.7 |
| Cr-Ni (Mo)-N 双相钢 | 210 | 14 | 15 | 中间 | 7.8 |
| Cr-C 玛氏体钢 | 215 | 11 | 30 | 是 | 7.7 |
| 碳钢 | 210 | 12 | 18 | 是 | 7.8 |
| 铜 | 135 | 17 | 380 | 不 | 8.3 |
| 铝 | 70 | 22 | 230 | 不 | 2.7 |
| 玻璃 | 65 | 9 | 1,7 | 不 | 2.5 |
| 水泥 | 48 | 10 | 1 | 不 | 2.5 |

不锈钢标准

重要的全球标准

ISO



EN



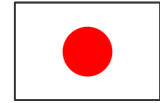
ASTM/AISI



UNS



JIS



注:

大多国家都会参考上述标准，它们被广为接受。
上述所有标准中，很多等级分类都非常类似。

美国标准请安：

参考资料 11

欧洲标准：

参考资料12

提供相应表格：

参考资料13 - 15

建筑施工中使用的主要等级： EN 10088-4（薄钢板/钢板/钢带）^{16, 17}

| 级别 | ASTM UNS | C Wt% | Cr Wt% | Ni Wt% | Mo Wt% | 其它 Wt% | 典型用于 ^{3,4} |
|------|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------------|
| 4003 | S40977 | 0,02 | 11,5 | 0,5 | — | — | 加热或为加热的内饰 |
| 4016 | 430 | 0,04 | 16,5 | — | — | — | 装饰性内饰覆层 |
| 4509 | S43932 | 0,02 | 18 | — | — | Nb Ti | 内陆屋顶和雨水管——通常镀锡来增加光泽 |
| 4510 | 439 | 0,02 | 17 | — | — | Ti | |
| 4521 | 444 | 0,02 | 17,8 | — | 2,1 | Ti | 家用水暖市场 |
| 4301 | 304 | 0,04 | 18,1 | 8,1 | — | — | 非沿海区正常工业黄静下的建筑内饰和外部 |
| 4307 | 304L | 0,02 | 18,1 | 8,1 | — | — | |
| 4306 | 304L | 0,02 | 18,2 | 10,1 | — | — | |
| 4401 | 316 | 0,04 | 17,2 | 10,1 | 2,1 | — | 潮湿环境、沿海区域，重度工业污染环境，或者有除冰盐问题的公路周边。 |
| 4404 | 316L | 0,02 | 17,2 | 10,1 | 2,1 | — | |
| 4571 | 316Ti | 0,04 | 16,8 | 10,9 | 2,1 | Ti | |
| 4529 | N08926 | 0,01 | 20,5 | 24,8 | 6,5 | N, Cu | 公路隧道和室内游泳池 |
| 4547 | | 0,01 | 20,0 | 18,0 | 6,1 | N, Cu | |
| | S31254 | | | | | | |

建筑施工中的主要等级： EN 10088-5（棒材/线材/型材）¹⁸

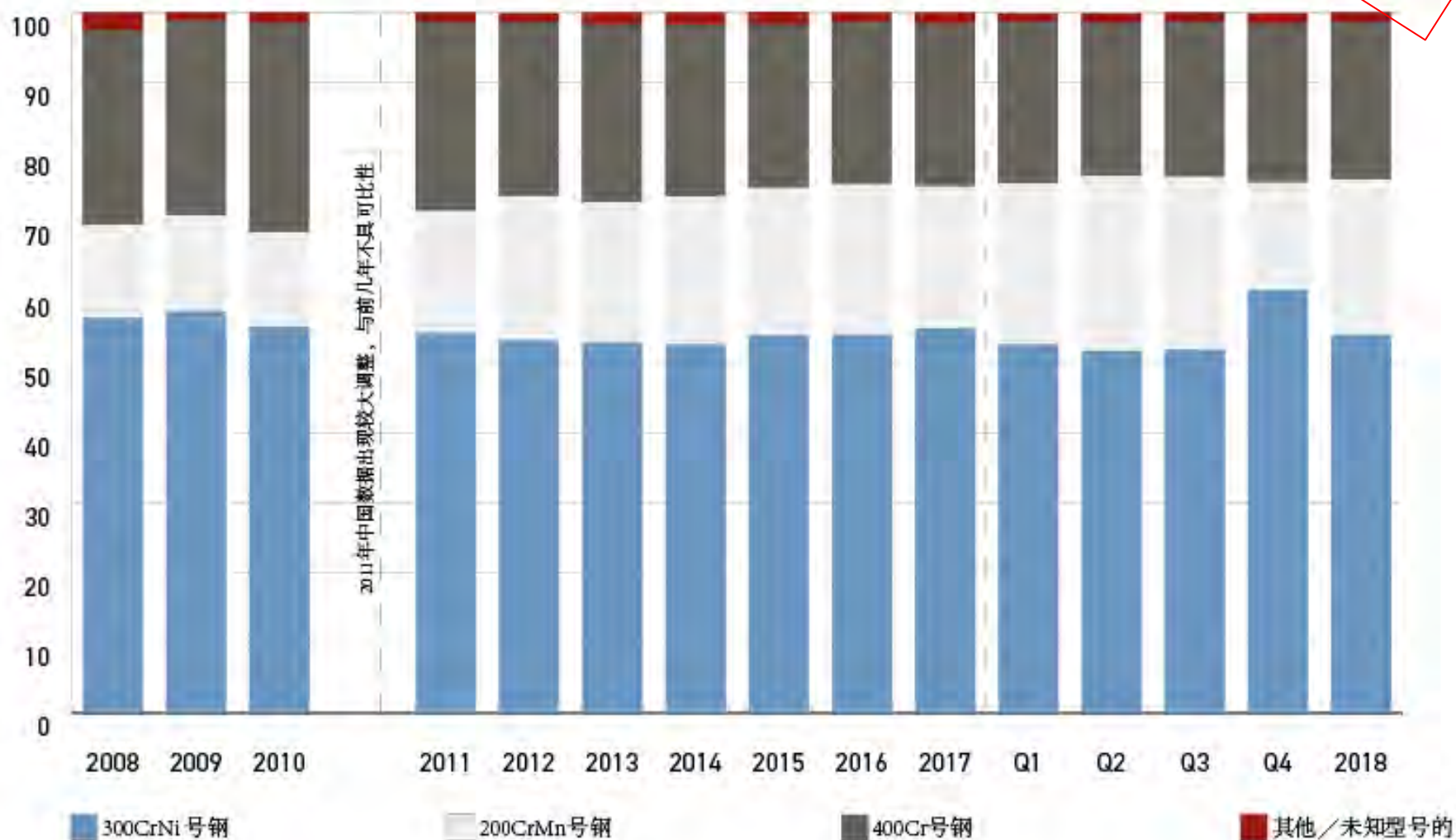
| 级别 | ASTM UNS | C Wt% | Cr Wt% | Ni Wt% | Mo Wt% | 其它 Wt% | 典型用于 ⁶ |
|------|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|
| 4003 | S40977 | 0,02 | 11,5 | 0,5 | – | – | |
| 4016 | 430 | 0,04 | 16,5 | – | – | – | 板岩钩 |
| 4542 | 630 | 0,04 | 16,0 | 4,0 | | Cu, Nb | 拉杆 |
| 4301 | 304 | 0,04 | 18,1 | 8,1 | – | – | 钢筋 A2 紧固件 |
| 4307 | 304L | 0,02 | 18,1 | 8,1 | – | – | |
| 4311 | 304N | 0,02 | 18,1 | 8,6 | – | N | |
| 4567 | 304Cu | 0,02 | 17,1 | 8,6 | – | Cu | |
| 4401 | 316 | 0,05 | 16,6 | 10,1 | 2,1 | – | 在远离海岸的正常工业环境中用于建筑内部和外部。 |
| 4404 | 316L | 0,02 | 16,6 | 10,1 | 2,1 | – | |
| 4429 | « 316LN » | 0,02 | 16,6 | 11,1 | 2,6 | N | |
| 4529 | « 926 » | 0,01 | 20,5 | 24,8 | 6,5 | N, Cu | 公路隧道和室内游泳池 |
| 4547 | S31254 | 0,01 | 20,0 | 18,0 | 6,1 | N, Cu | |
| 4362 | S32304 | 0,02 | 22,5 | 3,6 | 0,3 | N, Cu | 钢筋和机械组件 |
| 4462 | S32205 | 0,02 | 21,5 | 4,6 | 2,8 | N | 钢筋和机械组件 |

全球不锈钢产量各类别细分



全球产量按不同类别细分¹⁹

新!



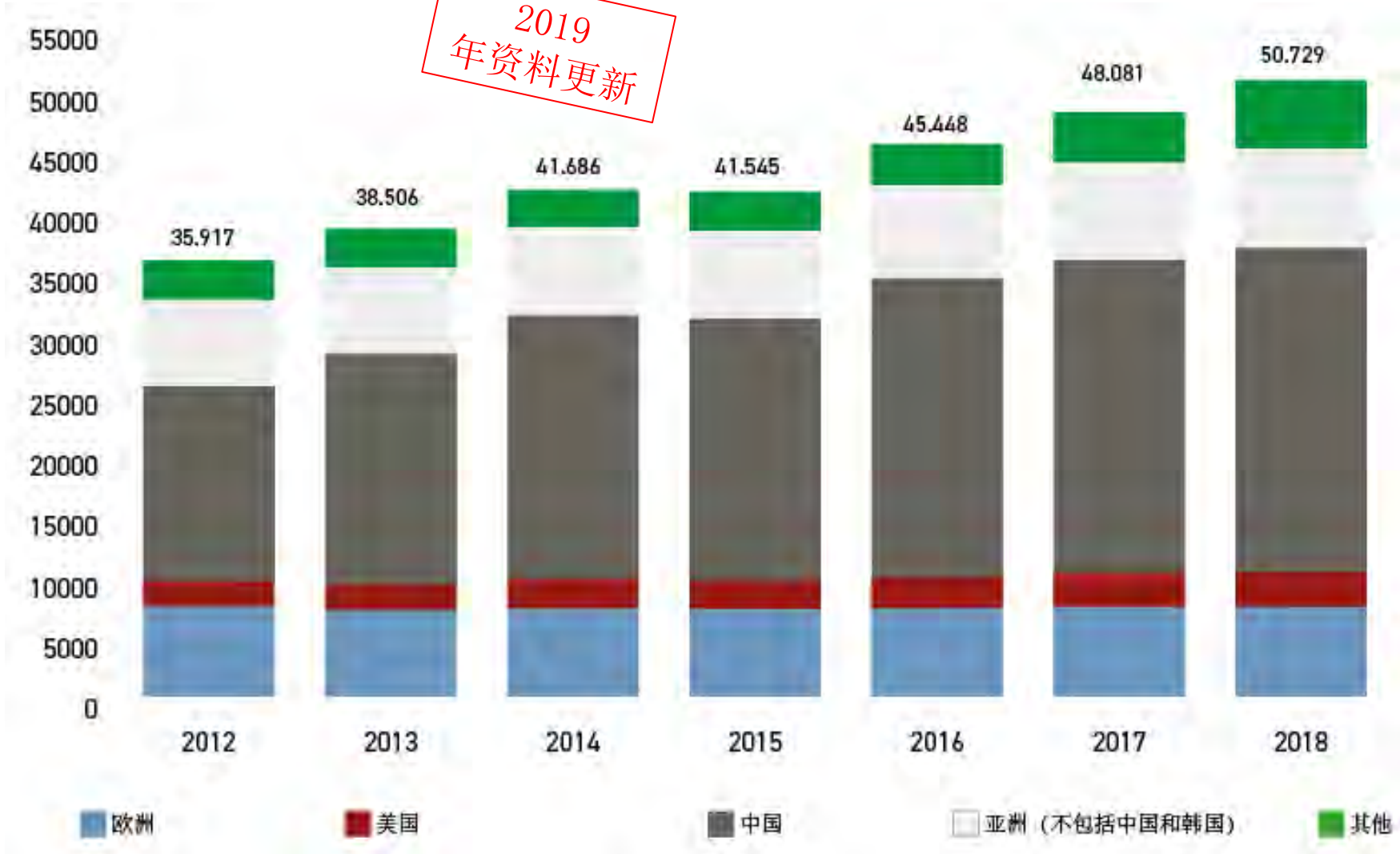
由于镍的价格高，因此倾向于用铬 - 锰或铬级钢来代替常用的铬镍级钢

今天双相钢产量很低，但未来可望增长

各地区不锈钢粗钢产量（钢板/钢锭当量）（单位：千公吨）

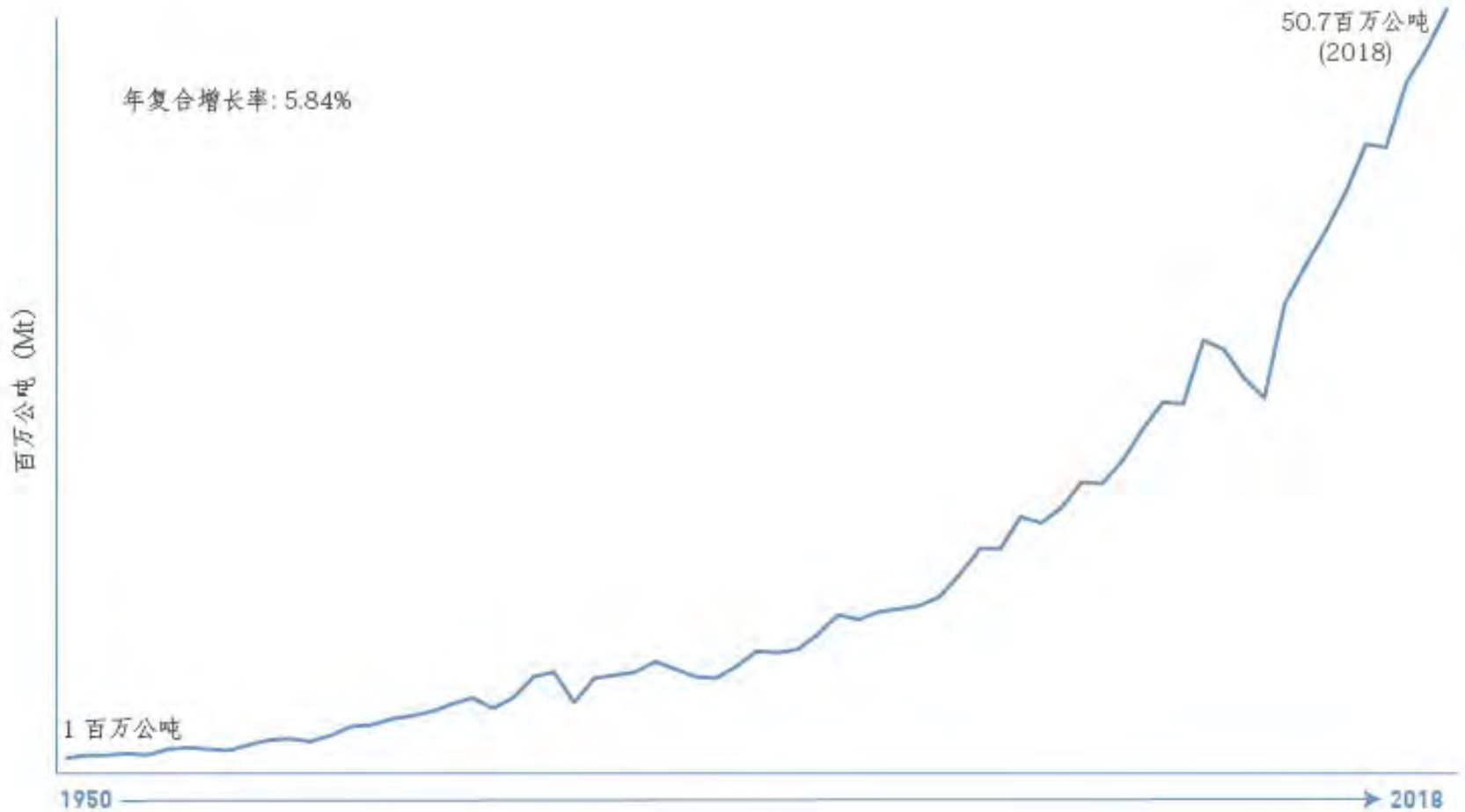
其他：巴西、俄罗斯、南非、韩国、印度尼西亚

2019
年资料更新



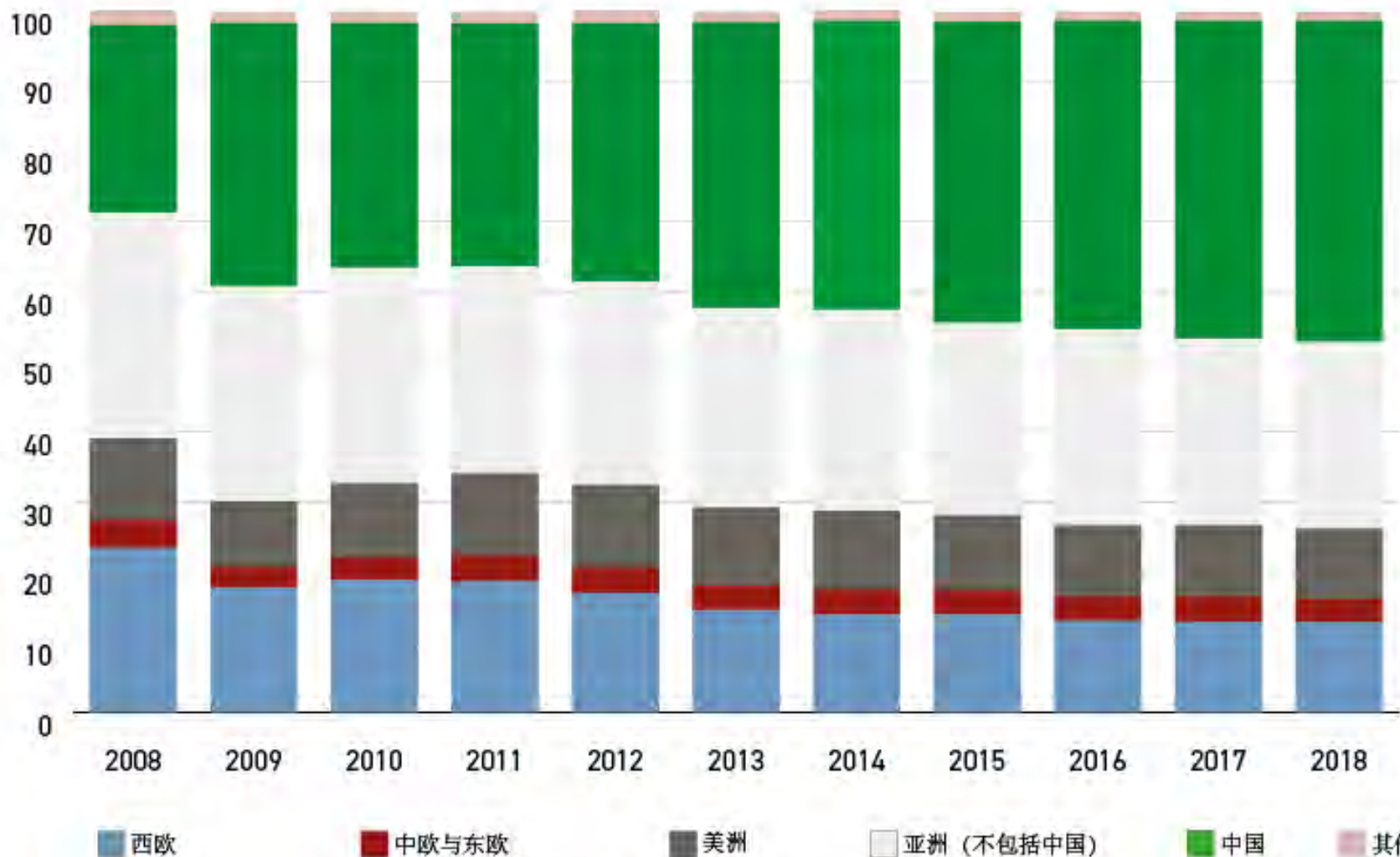
国际不锈钢粗钢产量年复合增长率 (钢板/钢锭当量)

2019
年资料更新



各地区不锈钢的表观使用量

2019
年资料更新



参考文献 (1/2)

1. <https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/TheStainlessSteelFamily.pdf>
2. <http://www.outokumpu.com/en/stainless-steel/about-stainless-steel/stainless-steel-types/pages/default.aspx>
3. D. Peckner Handbook of Stainless Steels Hardcover - June, 1977 ISBN-13: 978-0070491472 ISBN-10: 007049147X
4. http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Austenitics.pdf
5. New « 200 series steels »: An opportunity or a threat to the image of stainless steel? http://worldstainless.org/publications/brochures_and_posters
6. The ferritic solution [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF The Ferritic Solution Chinese.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_The_Ferritic_Solution_Chinese.pdf)
7. Martensitic stainless steels [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF Martensitic Stainless Steels.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Martensitic_Stainless_Steels.pdf)
8. Duplex stainless steels: <https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/structural-duplex-stainless.php?d=1>
9. https://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistanceI_14057a_.pdf
10. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/Tables TechnicalProperties EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Tables_TechnicalProperties_EN.pdf)
11. http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/2014-8-Specification-and-Guideline-list.pdf
12. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=370&featured=1>
13. <https://www.worldstainless.org/about-stainless/what-is-stainless-steel/standards/>

参考文献 (2/2)

14. Chemical composition of stainless steel flat products for general purposes to EN 10088-2: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=44>
15. Chemical composition of stainless steel long products for general purposes to EN 10088-3: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=46>
16. EN 10088-4:2009 Stainless steels. Technical delivery conditions for sheet/plate and strip of corrosion resisting steels for construction purposes
www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/EN10088-4_EN.pdf
17. Stainless steel flat products for building - the grades in EN 10088-4 explained:
<http://www.worldstainless.org/news/show/1881>
18. EN 10088-5: 2009 Stainless steels. Technical delivery conditions for bars, rods, wire, sections and bright products of corrosion resisting steels for construction purposes.
19. ISSF publication « Stainless steel in Figures »:
https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2019_Chinese_public_version.pdf

感谢!

建筑 / 土木工程发言稿讲义

第五章 不锈钢的耐腐蚀性

内容




1. 大多材料随着时间推移而腐败
2. 为什么不锈钢能抵抗腐蚀
3. 不锈钢腐蚀的类型
4. 如何选择有足够耐腐蚀性的不锈钢
 - 结构应用
 - 其它应用
5. 参考文献

1. 大多材料随着时间推移而腐败

大多材料随时间推移而腐败

| 材料 | 木材 | 钢铁 | 水泥 |
|-------|---|--|---|
| |  |  |  |
| 腐败的类型 | 真菌 昆虫 阳光+雨水 | 生锈 | 开裂/ 剥落 |
| 缓解措施 | 化学涂层/清漆 | 镀锌 上漆 | 耐腐蚀的钢筋 |

大多材料随时间推移而腐败

| 材料 | 石头 | 玻璃 | 聚酯 |
|------|---|--|---|
| |  |  |  |
| 腐败类型 | 磨损 污染损害 | 破裂 | 紫外线照射先容易 变脆 |
| 缓解措施 | 一般不采取措施 | 钢化玻璃 | 改进聚酯级别 |

大多材料随时间推移而腐败

| 材料 | 铝* | 铜 | 不锈钢 |
|------|---|--|---|
| |  |  |  |
| 腐败类型 | 随时间产生点蚀， 可能产生电偶腐蚀 | 随时间流逝会产生 铜绿 | 无腐败 |
| 缓解措施 | 可以避免电偶腐蚀 | 无措施 | 不需要 |

* 和不锈钢一样，铝也能产生很薄的氧化保护层，但铝氧化层的抗腐蚀性很低。

水泥中的腐蚀

(腐蚀不仅仅发生在表面!)



- 由于环境（海洋/除冰盐）中的氯化物在混凝土中会扩散，因此没有保护层的碳钢内部的钢筋混凝土结构也会出现腐蚀。
- 腐蚀产物（铁锈）的体积大于金属体积，因此会产生内部张力，使得混凝土外层剥落。
- 因此必须减少混凝土钢筋的腐蚀。
- 为此采用了各种方法：增厚混凝土层；阴极保护；覆膜；环氧树脂涂层.....使用不锈钢，而非碳钢。

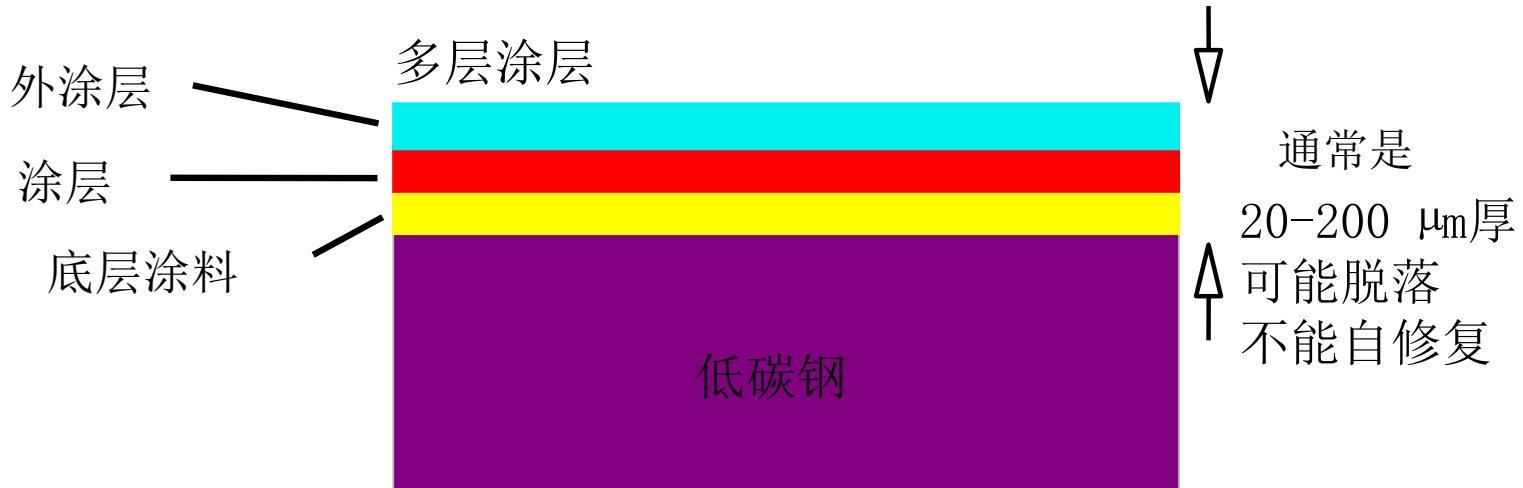
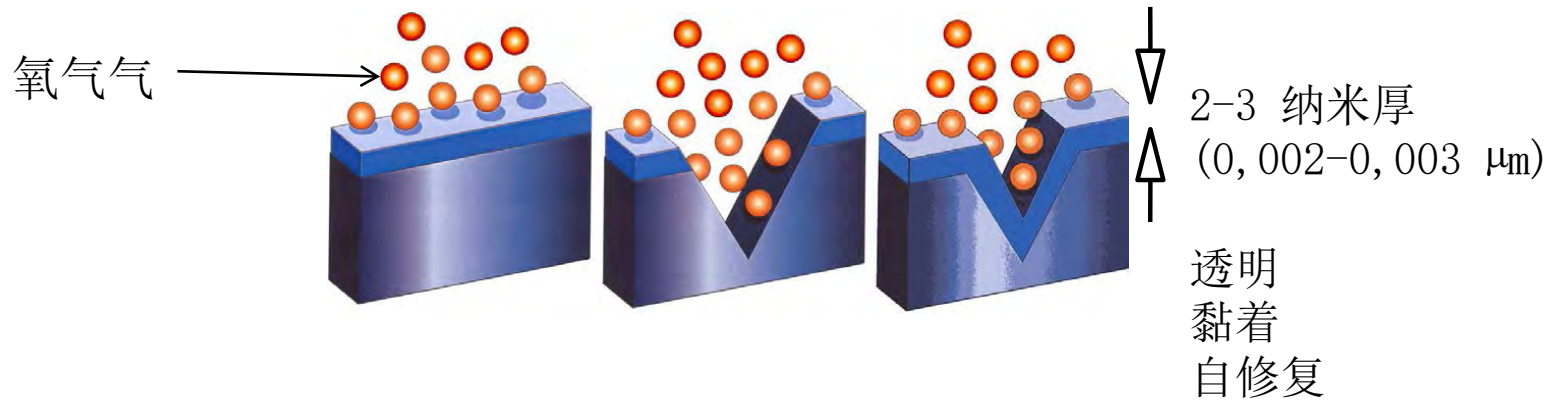


不锈钢用水泥内部不仅提高强度，还能提高耐蚀能力，使得建筑结构的使用寿命更长，而且毋需维护。

2. 为什么不锈钢会耐腐蚀

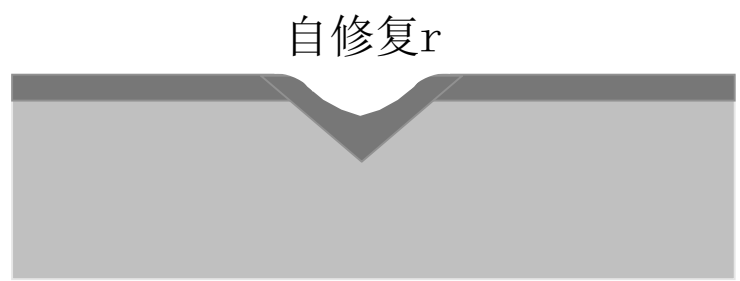
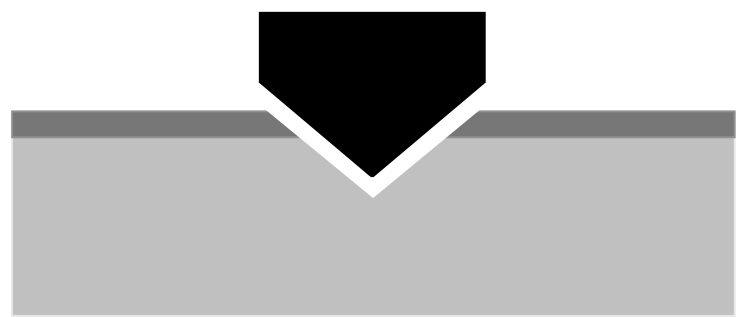
钝化层对比涂层

不锈钢表面的钝化膜：
铁和铬的氧化物-氢氧化物

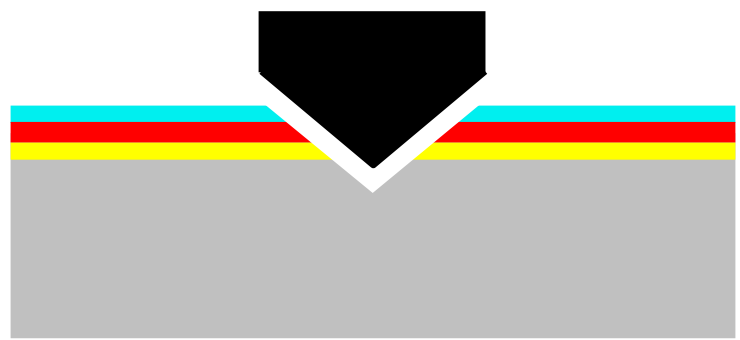


对保护层的破坏

不锈钢

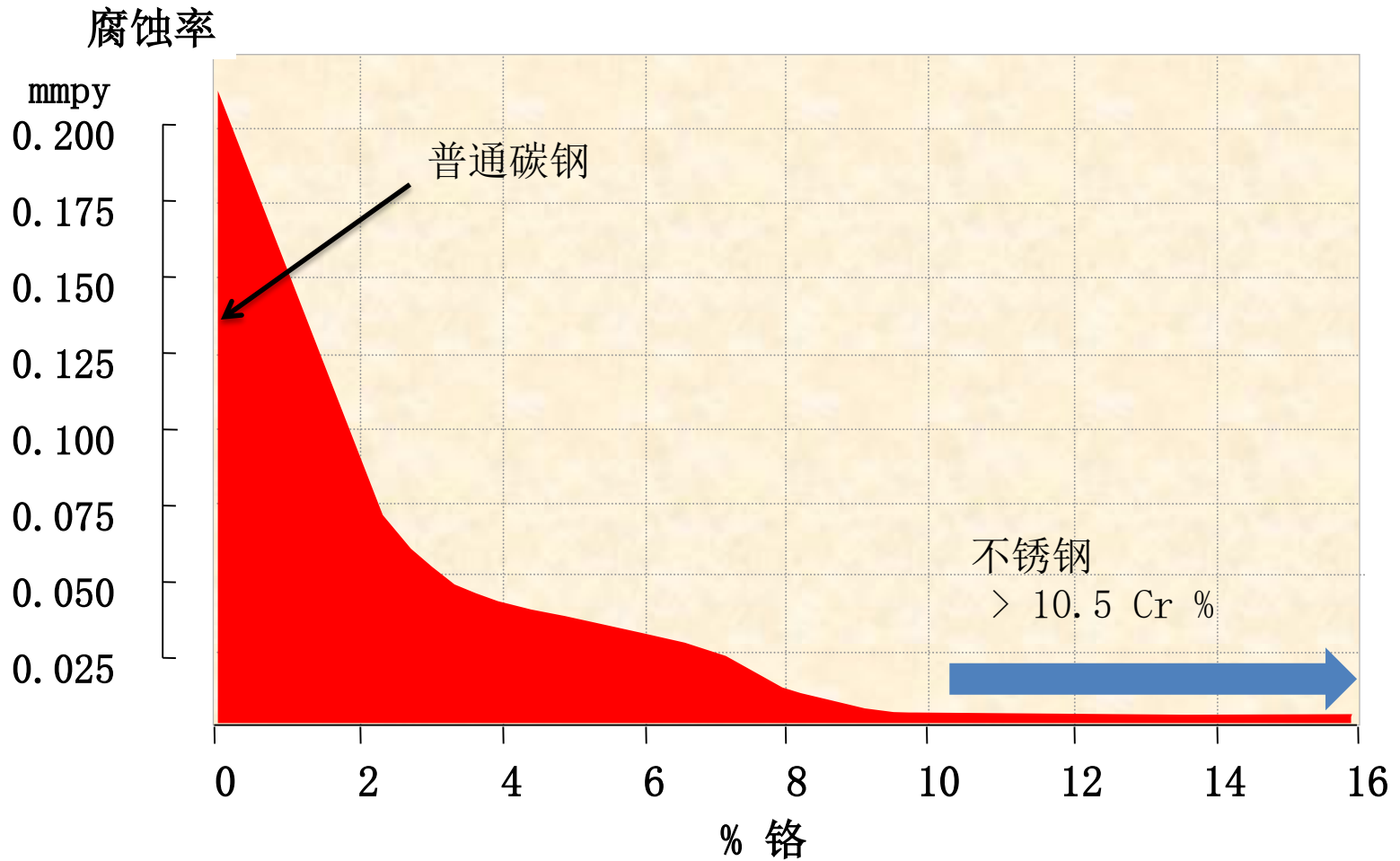


低碳钢



3. 不锈钢腐蚀的类型

铬含量对耐大气腐蚀的影响（均匀腐蚀）



没选用合适等级的不锈钢，将会产生腐蚀

…没有任何材料是完美的！

就像为了特定的目的而选择合适的车一样

不锈钢的腐蚀类型

- a) 均匀腐蚀
- b) 点蚀
- c) 缝隙腐蚀
- d) 电偶腐蚀
- e) 晶体间腐蚀
- f) 应力腐蚀开裂

a) 什么是均匀腐蚀？

- 钝化膜遭到恶劣环境破坏后，整个表面会遭到均匀腐蚀，金属损失的速度通过“ $\mu\text{m}/\text{年}$ ”来表示。
- 这是典型的无保护碳钢。
- 在建筑用不锈钢中不会出现这种情况，因为腐蚀条件不会那么激进（通常需要在酸性液体中浸泡）



b) 什么是点蚀^{1, 2, 3, 7?}

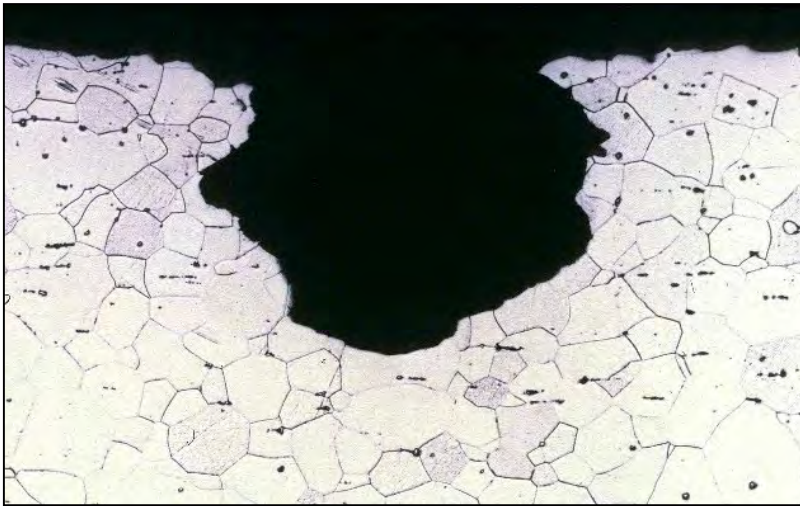
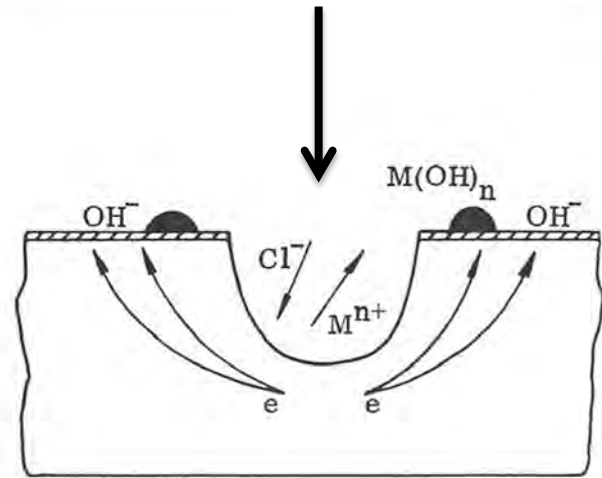
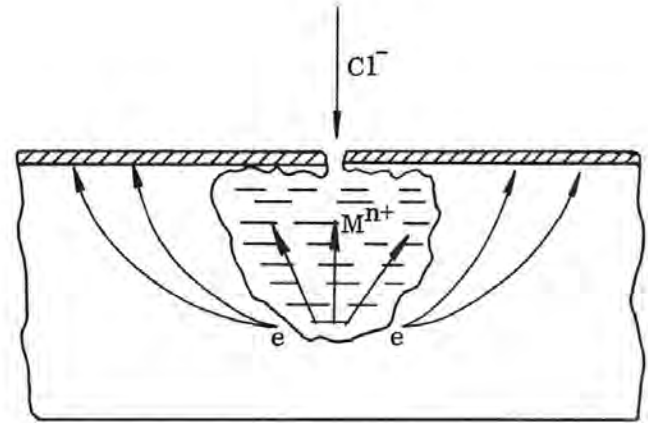
点蚀是一种极端局部的腐蚀，能引起金属细小的穿孔。

- 这张图显示的就是在激进的氯化物环境中，由于耐蚀性不够，不锈钢 EN1.4310 (AISI 301) 上出现的腐蚀。



点蚀的腐蚀机理

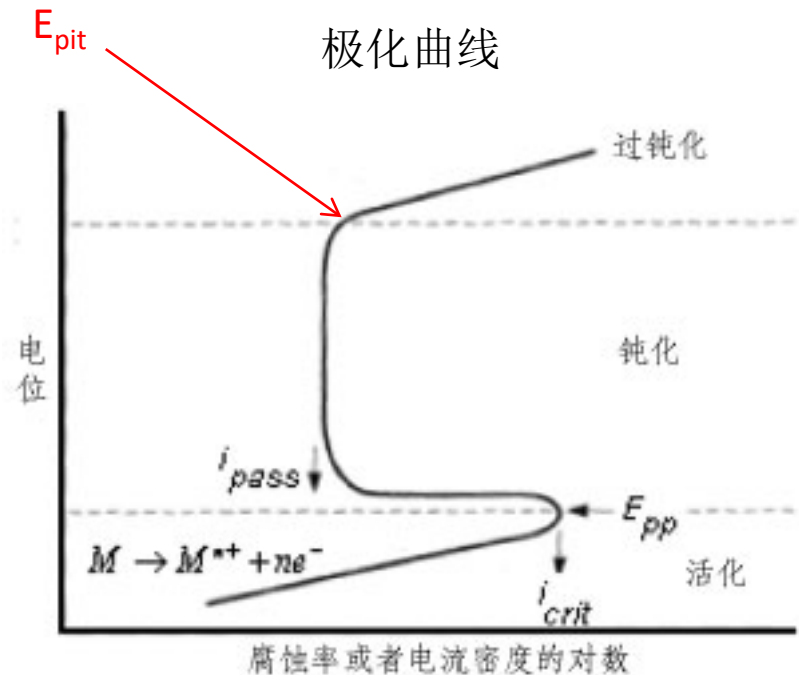
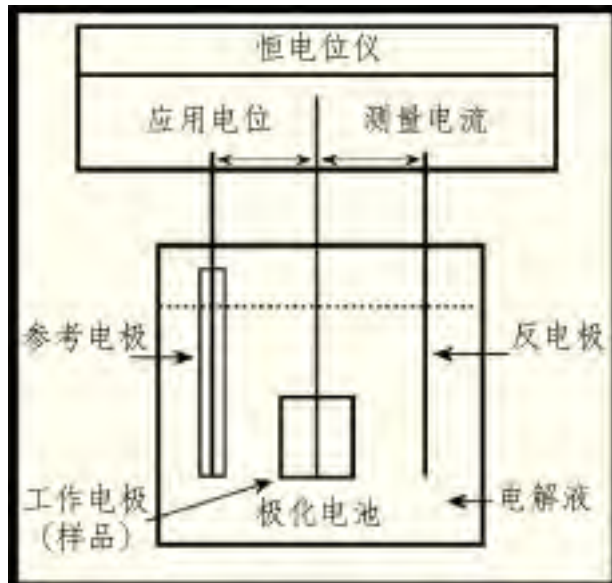
1. 开始时会出现非常小的表面不规则处，或非金属夹杂物。
2. 再钝化无法阻挡点蚀区域产生的电化学反应时，腐蚀就开始扩张。



点蚀可以在电化学电池里复制¹⁴

- 腐蚀包括金属的溶解，即伴有下列反应的电化学过程
 - a) 金属表面的电化学反应
 - b) 发生腐蚀的金属（阳极）和阴极部分之间产生电流
- 可以在电化学电池中来模拟，该电池可以让我们更好地研究腐蚀过程。

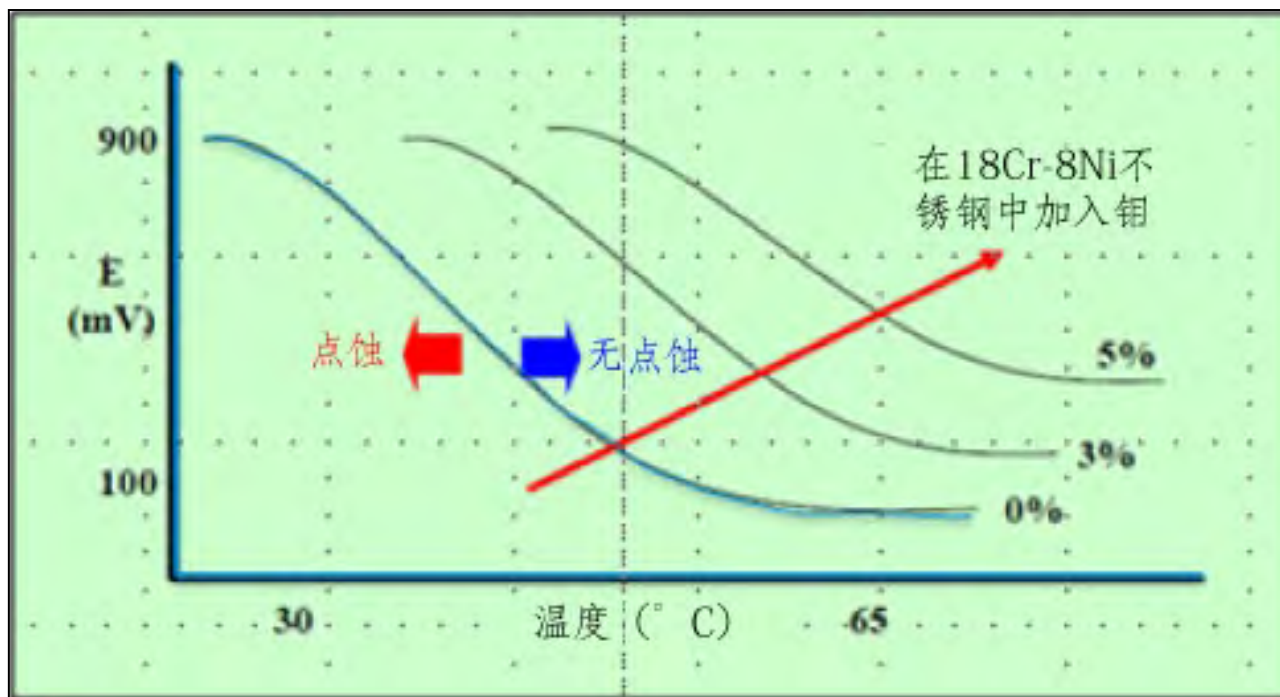
电化学电池



影响点蚀的主要因素¹

(一般用点蚀电位 E_{pit} 作为点蚀标准)

1. 温度



温度增加，耐点蚀能力会急剧下降。

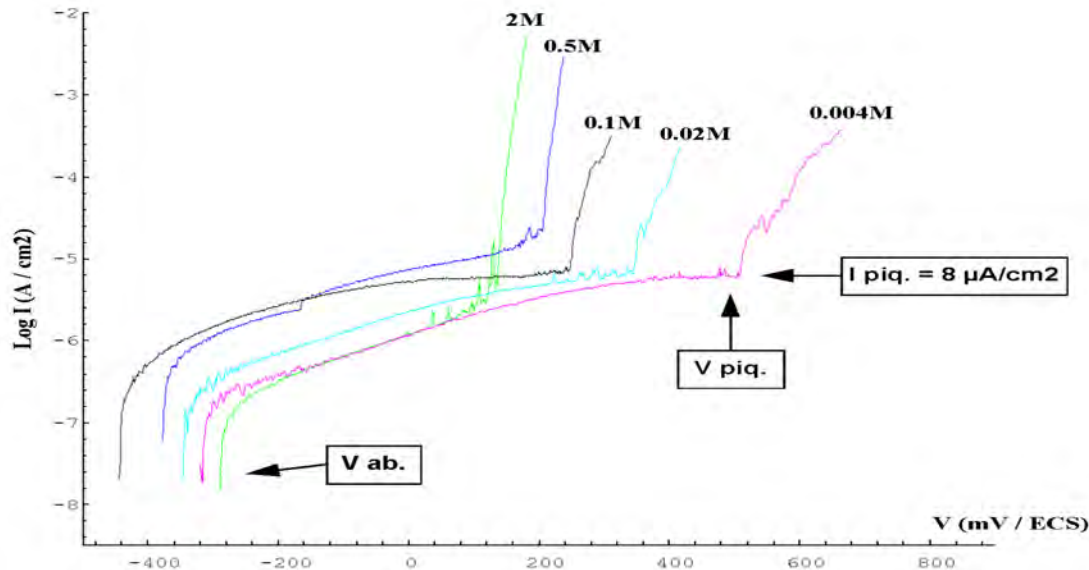
影响点蚀的主要因素¹

(一般用点蚀电位 E_{pit} 作为点蚀标准)

2. 氯化物浓度

随着氯化物含量的增加，耐点蚀性能下降。(氯离子浓度的对数)

$$E_{pit} = A \log [Cl^-] + B$$

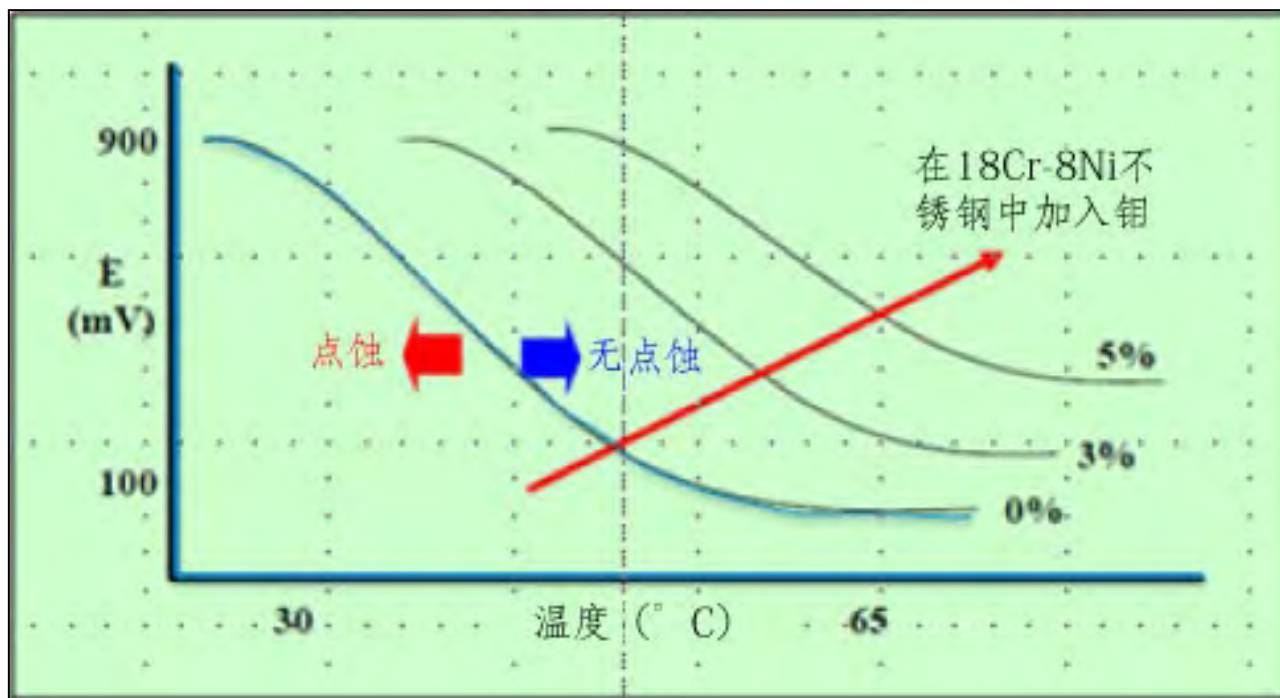


影响点蚀的主要因素⁵

(一般用点蚀电位 E_{pit} 作为点蚀标准)

2. 不锈钢分析

加入一些合金元素后，如氮、钼、铬，耐点蚀性会大量提高。



合金元素的作用被称作“耐点蚀当量数 (PREN)。”

耐点蚀当量数 (PREN) ⁶

- 通过计算PREN，可以比较不同级别的不锈钢耐点蚀的性能。当量数越高，性能越高。
- 很明显，不能只用PREN值来预测某特定级别钢是否适用于某特定应用。

$PREN = Cr + 3.3Mo + 16N$ ，其中

Cr = 铬含量

Mo = 钼含量

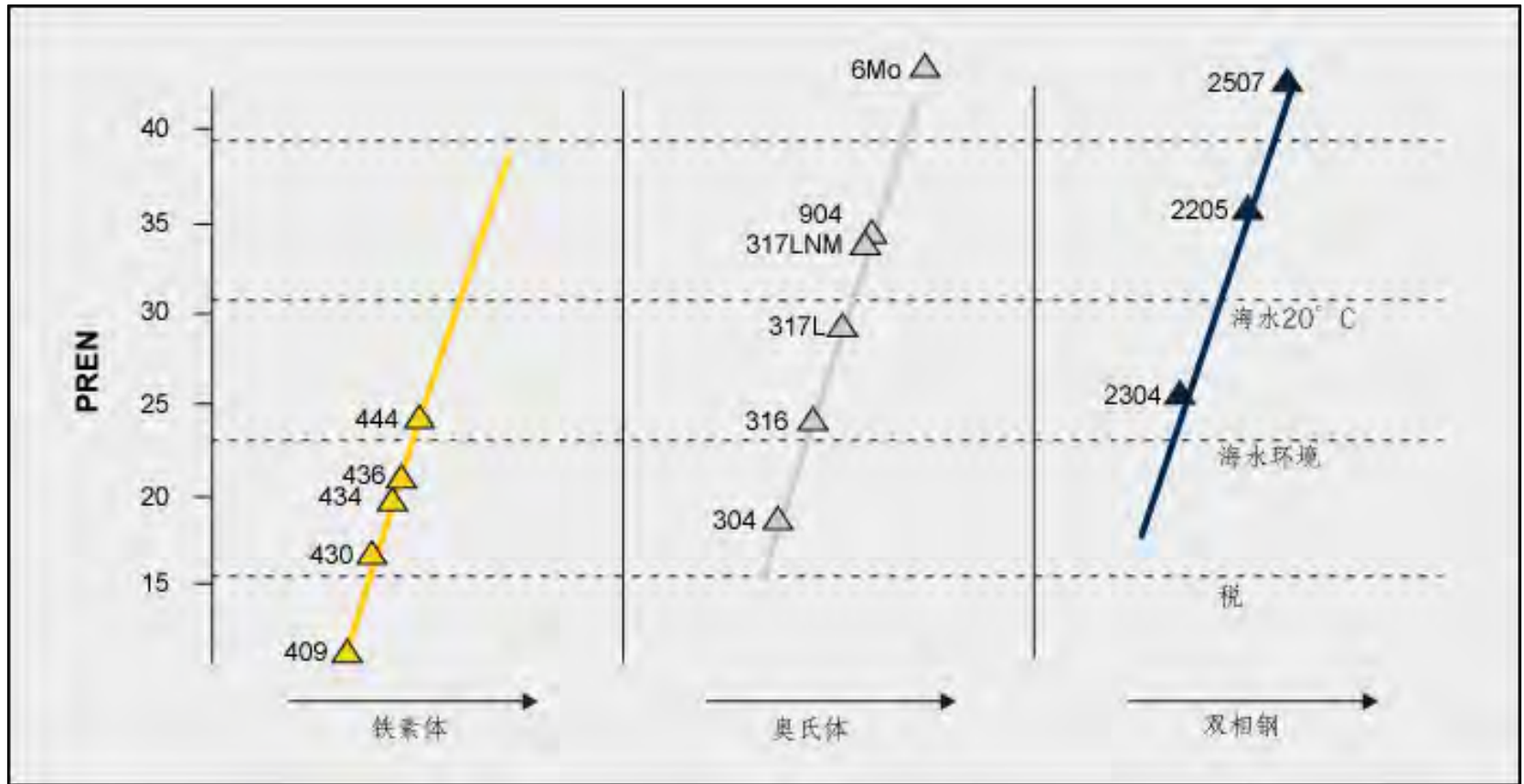
N = 氮含量

| EN | AISI | PREN |
|----------|-------|-------------|
| 1.4003 | - | 10.5 - 12.5 |
| 1.4016 | 430 | 16.0 - 18.0 |
| 1.4301 | 304 | 17.5 - 20.8 |
| 1.4311 | 304LN | 19.4 - 23.0 |
| 1.4401/4 | 316/L | 23.1 - 28.5 |
| 1.4406 | 316LN | 25.0 - 30.3 |
| 1.4439 | 317L | 31.6 - 38.5 |
| 1.4539 | - | 32.2 - 39.9 |
| 1.4362 | - | 23.1 - 29.2 |
| 1.4462 | - | 30.8 - 38.1 |
| 1.4410 | - | 40 |
| 1.4501 | - | 40 |

请注意PREN不包括镍。

耐点蚀性不取决于不锈钢的镍含量。参看下一张幻灯片

几种常见等级钢的PREN值⁹



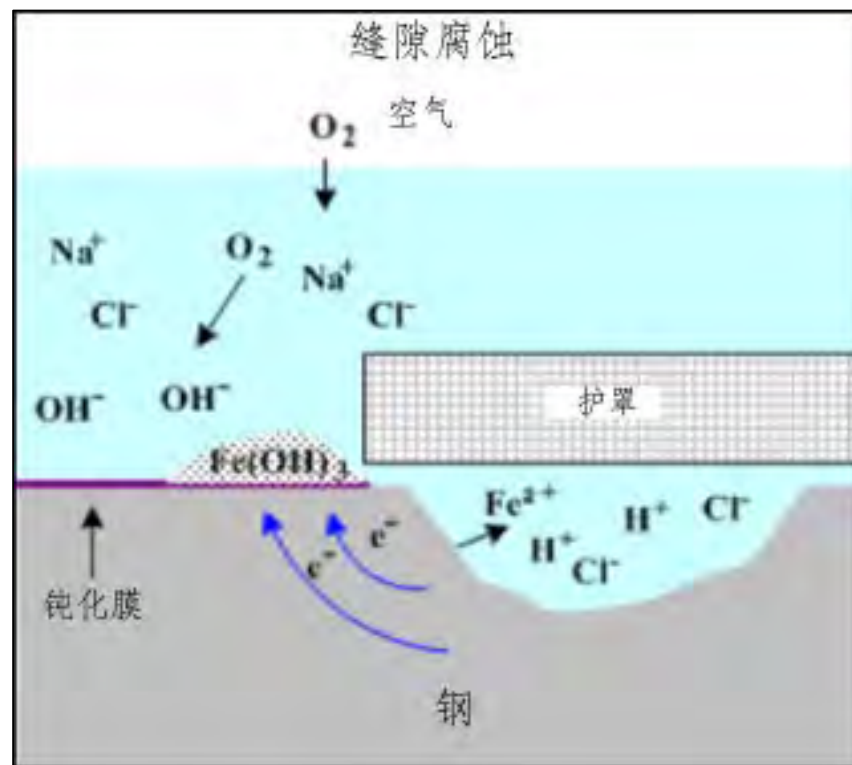
注：请参见附录中的EN标准名称。

c) 什么是缝隙腐蚀¹?

缝隙腐蚀是指在封闭空间的腐蚀，从环境中获取工作液是有限制的，这种空间一般称为缝隙。比如部件之间的缝隙或接触面、垫圈或封条下面，裂缝和接缝内部，有沉积物的地方，或者污泥堆下。

缝隙腐蚀的机理

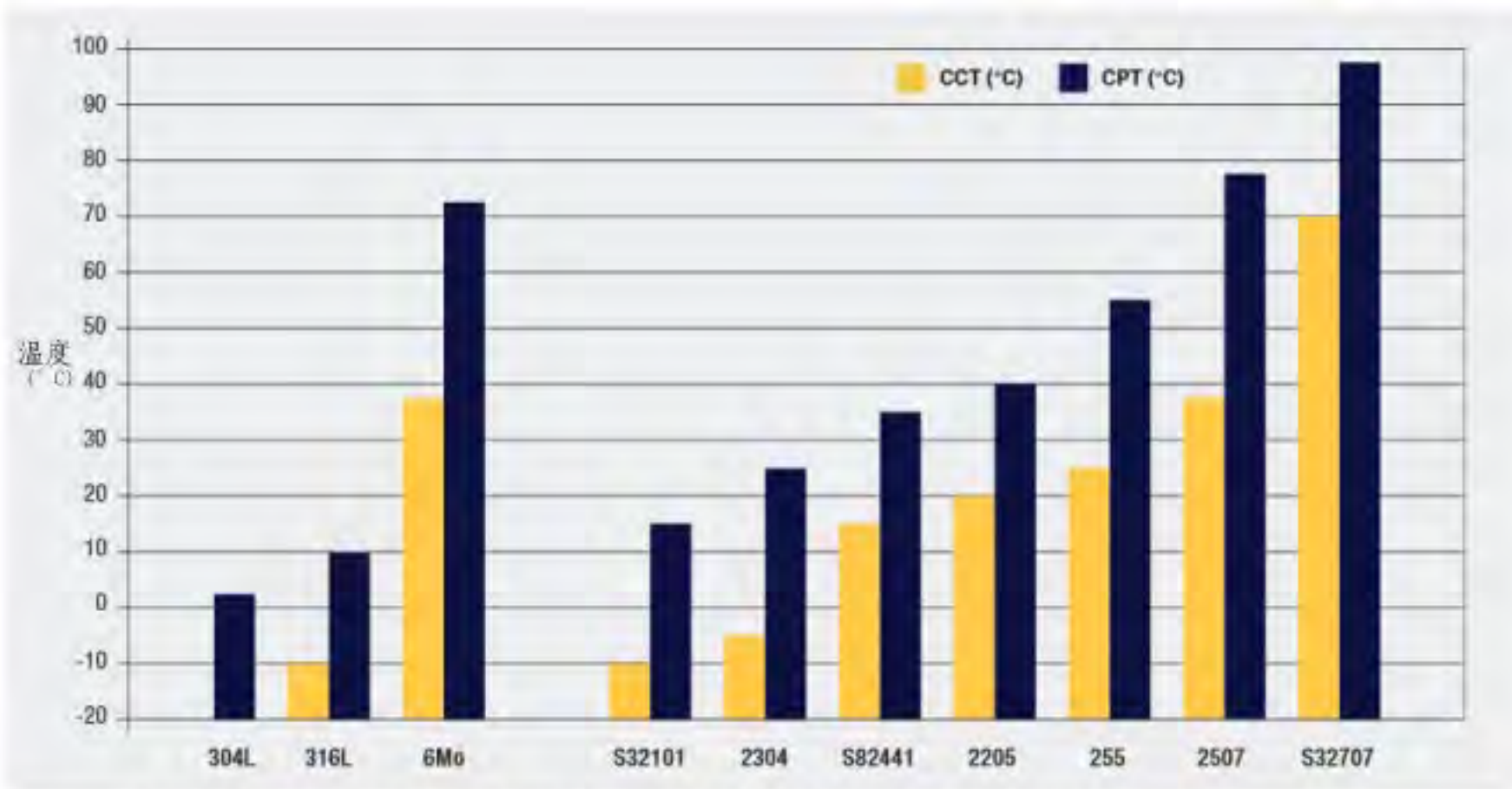
- 开始的时候，缝隙腐蚀和表面腐蚀是一样的
- 接着，由于缝隙的氧气缺乏，开始发生变化
- 缝隙里出现一组电化学反应，产生更多氯离子，因此这个位置的PH值下降到无法出现钝化
- 之后缝隙里的金属就会发生均匀腐蚀



新!

临界点蚀温度 (CPT) 各种奥氏体钢和双相钢⁸ 的临界缝隙腐蚀温度 (CCT)

注：温度越高，耐腐蚀性越好



各牌号的奥氏体钢（左侧）和双相钢（右侧）在退火状态下的电溶液中的临界点蚀和临界缝隙腐蚀温度（ASTM G48在6%的氯化铁中测得）

注：请参阅附录的EN标准名称

如何避免缝隙腐蚀

1. 优化设计：
 - a) 使用焊接件。
 - b) 完全排水设计。
2. 保持清洁，清理沉积（尽可能）
3. 选择合适的耐腐蚀不锈钢（参看本章第四部分）

d) 什么是电化腐蚀¹? (也被称为双金属腐蚀)



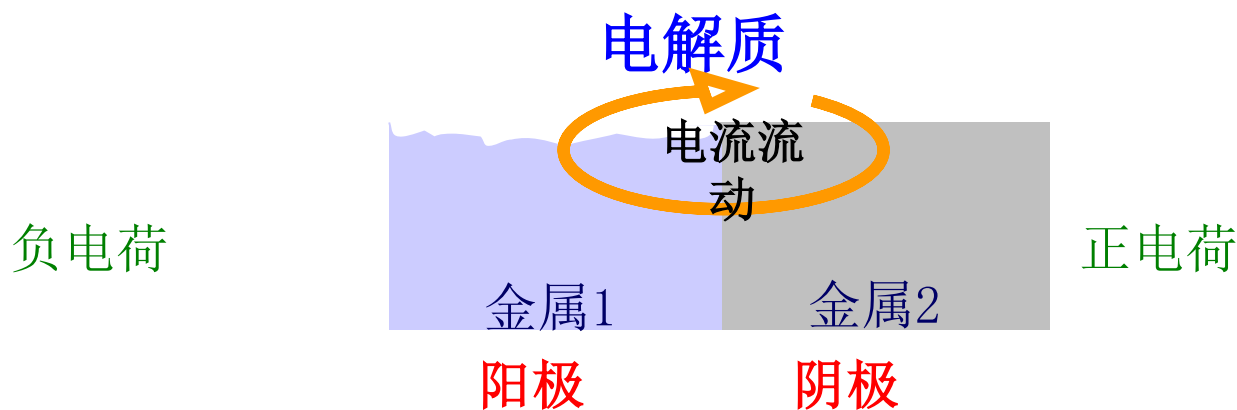
当电偶电位差异很大的两种金属相互接触时，会产生电偶腐蚀。

阳性最强的金属会被腐蚀。

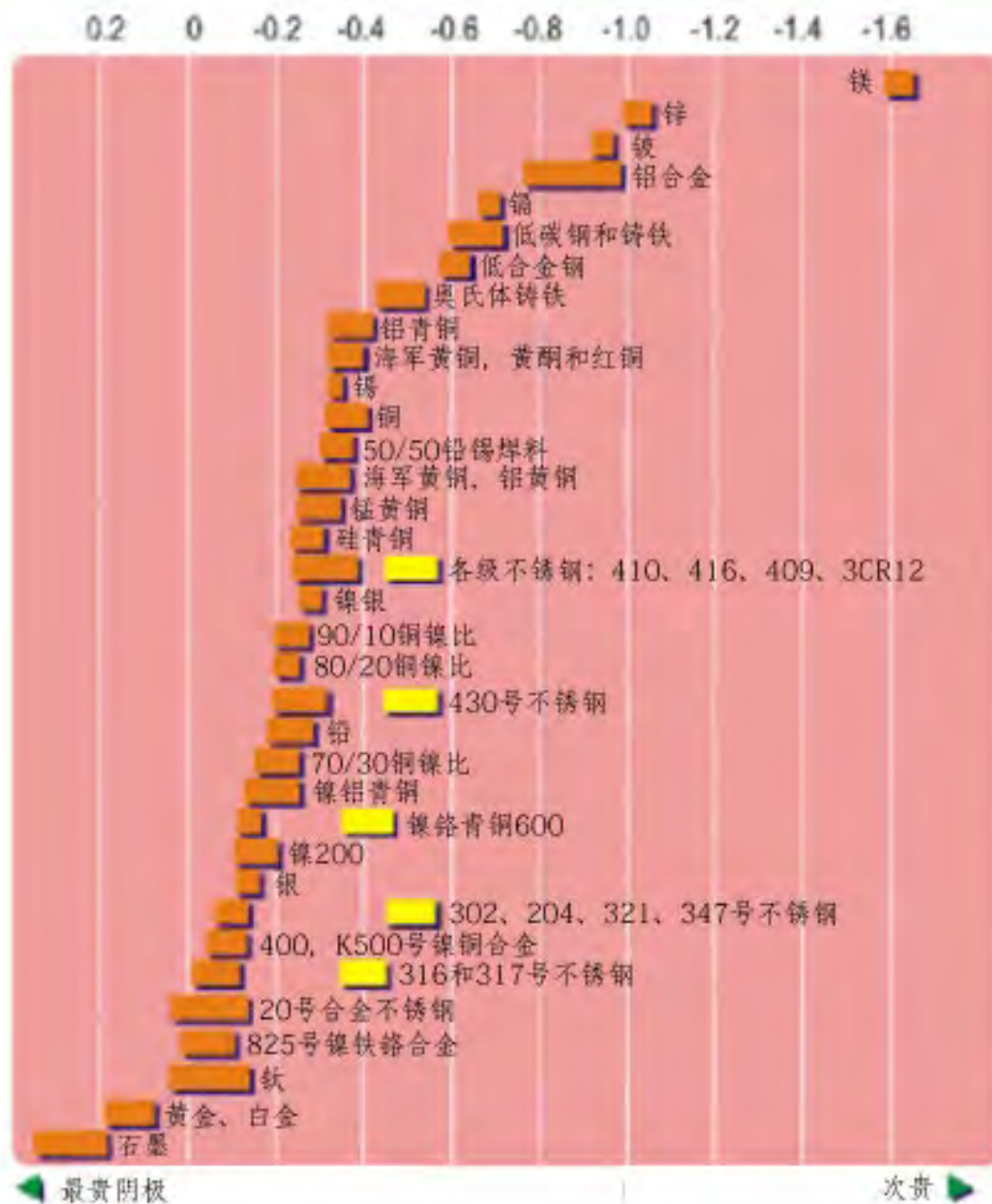
左图案例：不锈钢板用碳钢螺栓被固定在不锈钢容器中——导致潮湿环境下（相当于电解质），螺栓出现电偶腐蚀。

电偶腐蚀的机理

- 当被浸渍在电解质中时（通过参考电极来测量），每种金属都会有一个特征电位。
- 当两种金属与导电液体连接时（湿度就足够了）：
- 当这两种金属电位差异很大时
- 电流会从负电荷最多的（阳极）流向正电荷最多的（阴极）。
- 如果阳极面积较小，则会出现金属的溶解。



流动海水中金属的电势序列。



如何避免电偶腐蚀的基本规则

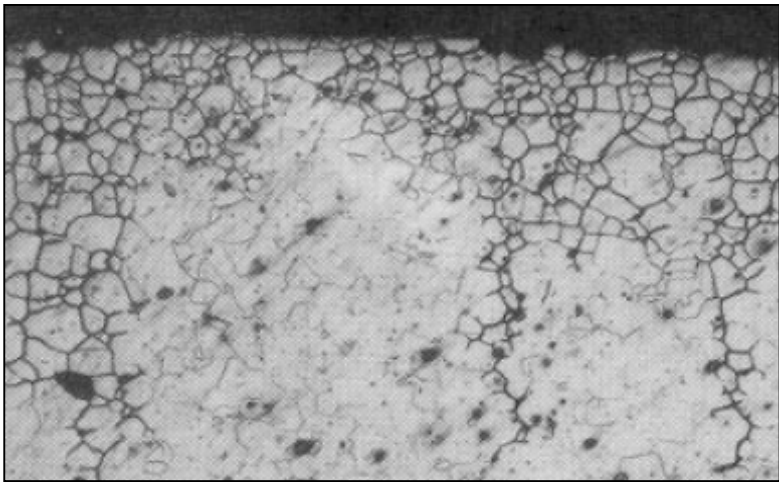
- 避免不同类金属在一起
- 不同类金属相互接触时，要确保次贵金属（阳极）的接触面远远大于贵金属（阴极）的要接触面
- 例子：
 - 铝制品要用不锈钢紧固件（永远不要在不锈钢产品上用铝制紧固件）
 - 同样规则也适用于不锈钢和碳钢

在受到氯化物污染的混凝土（高PH值）中，不锈钢钢筋不会通过电偶耦合显著提高碳钢钢筋的腐蚀速率。

参考材料在www.stainlesssteelrebar.org网站中提供。

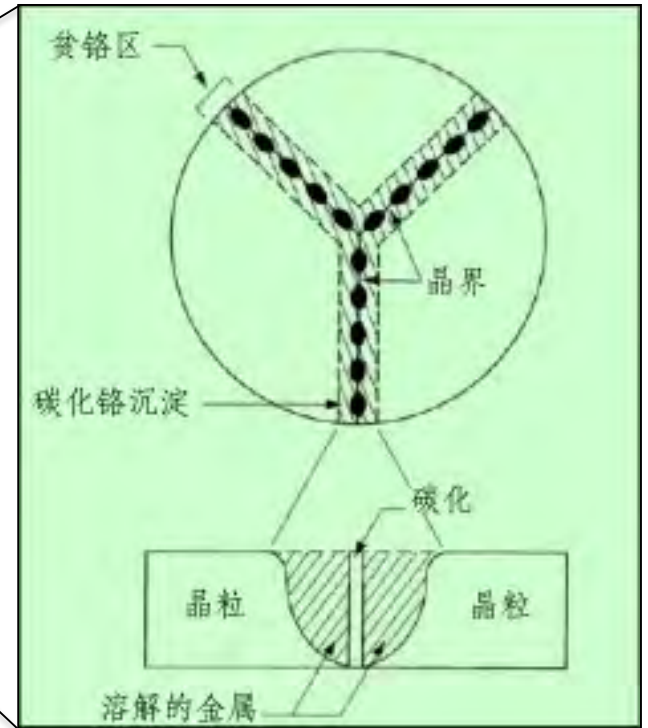
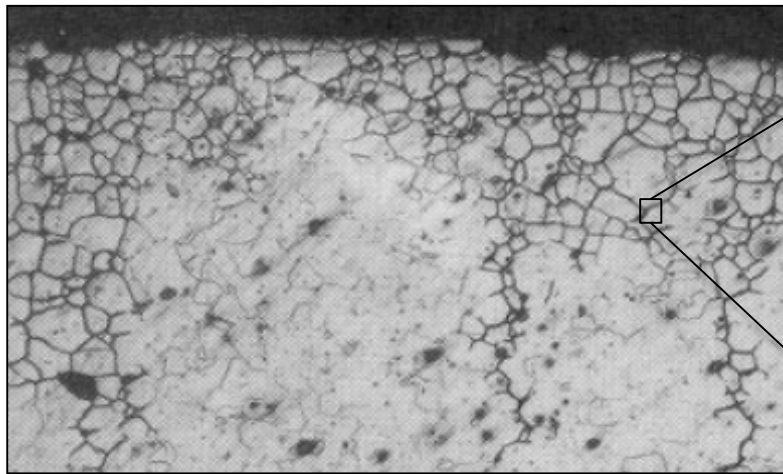
e) 何时晶间腐蚀¹?

晶间腐蚀由于在晶界形成铬的碳化物 $(Fe, Cr)_{23}C_6$ ，使得铬的含量减少，钝化层的稳定性降低。



在上图照片中可以看到，不锈钢样品抛光后，遇到强酸介质，产生蚀刻。黑色的网格线对应的是受到化学腐蚀的晶粒边界，起耐腐蚀性要远远低于晶粒本身。

晶界贫铬示意图



什么时候会发生晶间腐蚀？

- 不锈钢经过适当处理后不容易出现晶间腐蚀
- 当下列情况出现时，可能出现在焊接点的热影响区（在焊缝的任何一侧）
 - 含碳量高
 - 钢没有经过 Ti, Nb, Zr *的稳定处理，使碳被“固定”矩阵中，无法在晶界形成碳化物。



焊接腐蚀

* 这也是为什么不锈钢会有Ti和/或 Nb 和/或 Zr等不同等级，它们都被称为“稳定”级钢。

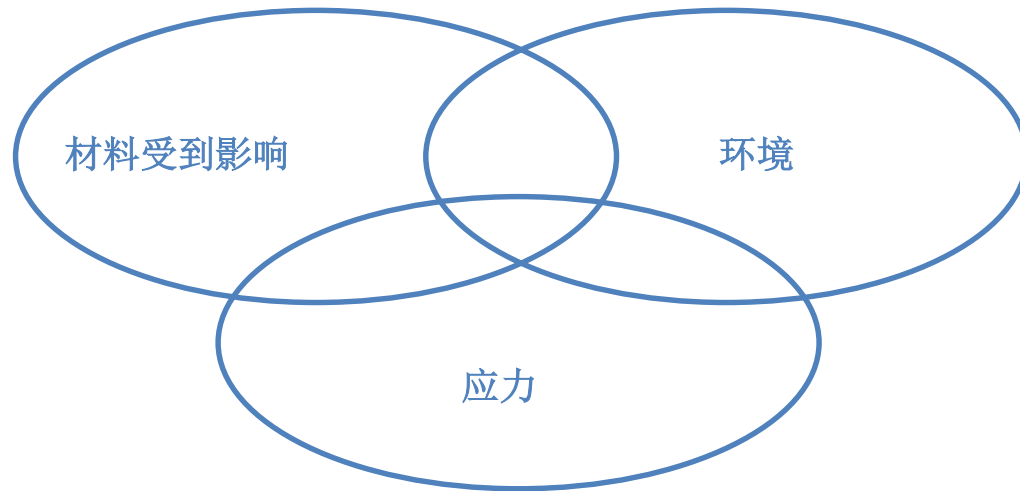
[若想了解更多焊接及其他连接方法，请参看模块9。](#)

如何避免晶间腐蚀？

- 使用低碳钢，奥氏体的碳含量要低于0.03%
- 或者使用“稳定级”的铁素体钢和奥氏体钢
- 或者对奥氏体钢进行溶液退火处理（在1050° C将所有的碳化物溶解），再进行淬火处理。（但是这个方案实际操作性不强）。

f) 何时应力腐蚀开裂¹ (SCC) ?

- 组件没有经历变形的过程，突然发生开裂和损坏。
- 当出现下列条件时，会发生应力腐蚀开裂
 - 该部件受到应力影响（可能时外加的负荷，也可能时残余应力）
 - 腐蚀性环境（氯含量高，温度超过50° C）
 - 不锈钢不足以抵抗SCC

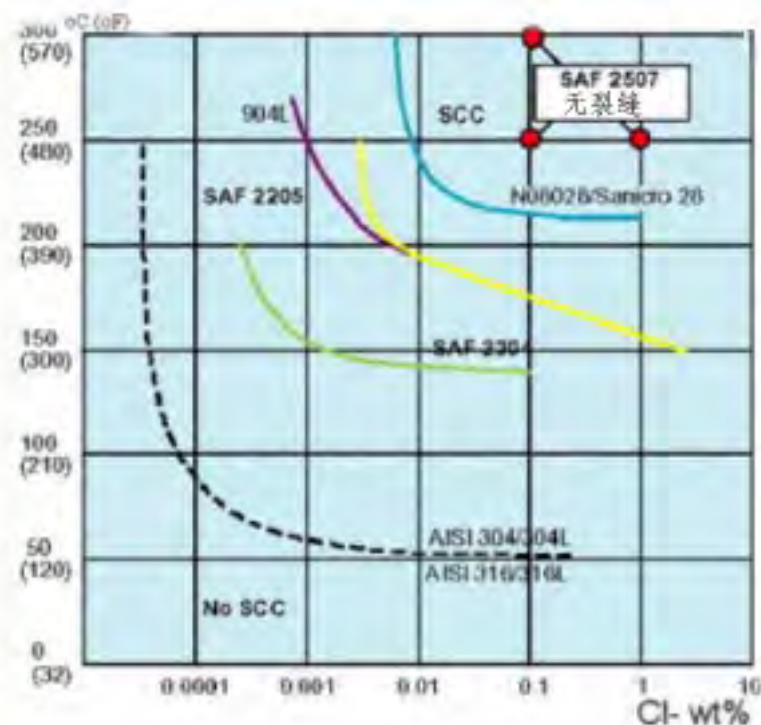


铁素体和双相（即奥体钢铁素体合金钢）对
SCC免疫

应力腐蚀开裂的机理（SCC）

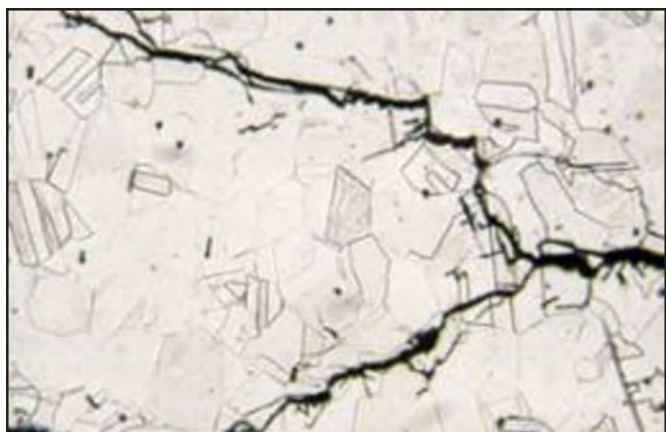
环境条件（含氯/高温）
和应力（外部施加的应力
或者残余应力）一起作用，
间刚出现下列系列事件：

1. 出现点蚀
2. 点蚀处出现开裂
3. 开裂跨晶粒或在晶粒间传播
4. 出现故障



注：英文标注名称请参看附件

避免SCC - 两种选择



在标准奥氏体不锈钢中出现氯离子引发的应力腐蚀开裂，即 viz. 1.4301/ 304 or 1.4401 /316

+Ni
+Mo

1.4539
1.4547 (6Mo)

+Cr

选择双相钢，价格更稳定（镍含量更少）

1.4462
1.4410
1.4501

选择含镍和钼高的奥氏体不锈钢（耐腐蚀性更强）

铁素体钢和双相钢不会产生应力腐蚀开裂（由于铁素体不同于奥氏体，对这种类型的腐蚀不敏感。）若想了解更多上述牌号钢的更多信息，请参阅模块4

4. 如何选择具有足够耐腐蚀性的不锈钢

两种不同情况：

1. 结构应用 10a
2. 其它应用 10b

4 - 1 结构应用

欧洲规范1-4中提供了一套流程，为在特定环境下使用的结构构件选择合适的不锈钢。（请注意当时——即2014年11月—— EN 1993-1-4 发展组的建议尚未实施）

下张幻灯片将具体介绍流程内容
它适用于：

- 承重构件
- 不经常浸泡在海水中的环境、
- pH值在4与10之间
- 不接触化学工艺流程

该流程如何运作

1. 评估环境的耐腐蚀因子（CRF），由三个部分构成（ $CRF = F1 + F2 + F3$ ），其中
 - a) F1 代表来自海水或除冰盐中的氯化物的暴露风险
 - b) F2 代表对二氧化硫的暴露风险
 - c) F3 清理方案或雨水清理
2. 对于给定的CRF，匹配表格提供对应的CRC分类
3. 不锈钢耐腐蚀等级根据CRF值可分为I到V的级别

请参看接下来四张幻灯片上的表格

F₁ 氯离子的暴露风险（盐水或除冰盐）

注：M代表与海的距离；S代表距离施用除冰盐的公路距离

| | | |
|-----|---|---|
| 1 | 内控环境 | |
| 0 | 低度暴露风险 | $M > 10 \text{ km or } S > 0.1 \text{ km}$ |
| -3 | 中度暴露风险 | $1 \text{ km} < M \leq 10 \text{ km or } 0.01 \text{ km} < S \leq 0.1 \text{ km}$ |
| -7 | 高度暴露风险 | $0.25 \text{ km} < M \leq 1 \text{ km or } S \leq 0.01 \text{ km}$ |
| -10 | 风险非常高 施用除冰盐，或者机动车辆可能会讲除冰盐带入其中的公路隧道 | |
| -10 | 风险非常高 德国北海海岸 所有波罗地海沿岸区域 | $M \leq 0.25 \text{ km}$ |
| -15 | 风险非常高 大西洋海岸线区域，包括葡萄牙、西班牙和法国 英国、法国、比利时、荷兰、瑞典南部海岸线区域 英国、挪威、丹麦、爱尔兰等国所有沿海区域 地中海海岸 | $M \leq 0.25 \text{ km}$ |

F₂ 对二氧化硫的暴露风险

注：欧洲沿海环境中，二氧化硫沉积值通常比较低。其内陆环境的二氧化硫值或者较低，或者中等。很少出现二氧化硫值较高的情况，或者是因为这是个重工业区，或者特制一些环境，例如公路隧道。二氧化硫的沉积值可以通过ISO9225提供的方法来评估。

| | | |
|-----|--------|------------------------------------|
| 0 | 较低暴露风险 | (<10 μg/m ³ 平均沉积量) |
| -5 | 中度暴露风险 | (10 - 90 μg/m ³ 平均沉积量) |
| -10 | 高度暴露风险 | (90 - 250 μg/m ³ 平均沉积量) |

F₃ 清 洁 方 案 或 雨 水 清 洁

(if F₁ + F₂ = 0, then F₃ = 0)

| | |
|----|-------------------|
| 0 | 完全雨水清洁 |
| -2 | 具体的清洁方案 |
| -7 | 既没有雨水清洁，也没有具体清洁方案 |

匹配表

表A. 2: 耐腐蚀类别CRC的确定

| 耐腐蚀因子 (CRF) | 耐腐蚀类别 (CRC) |
|-------------------------|-------------|
| $CRF = 1$ | I |
| $0 \geq CRF > -7$ | II |
| $-7 \geq CRF > -15$ | III |
| $-15 \geq CRF \geq -20$ | IV |
| $CRF < -20$ | V |

不锈钢的耐腐蚀类别

表A. 3: 各耐腐蚀类别CRC中的级别

| | 耐腐蚀类别 CRC | | | |
|--------|-----------|--------|--------|--------|
| I | II | III | IV | V |
| 1.4003 | 1.4301 | 1.4401 | 1.4439 | 1.4565 |
| 1.4016 | 1.4307 | 1.4404 | 1.4539 | 1.4529 |
| 1.4512 | 1.4311 | 1.4435 | 1.4462 | 1.4547 |
| | 1.4541 | 1.4571 | | 1.4410 |
| | 1.4318 | 1.4429 | | 1.4501 |
| | 1.4306 | 1.4432 | | 1.4507 |
| | 1.4567 | 1.4578 | | |
| | 1.4482 | 1.4662 | | |
| | | 1.4362 | | |
| | | 1.4062 | | |
| | | 1.4162 | | |

| | | | | | |
|--|--------|--|--------|--|--------|
| | 铁素体 | | 标准奥氏体钢 | | 含钼奥氏体钢 |
| | 节约型双相钢 | | 超级奥氏体钢 | | 双相/找双相 |

注： 有关EN标准名称，请参看附录
这并不适用于游泳池

4 -2 其它应用

- 无适用具体规定
- 所选级别一定要满足预期性能
- 三种方法：
 - 专家咨询
 - 寻求不锈钢发展协会的协助
 - 寻找类似环境下的成功案例（通常可以找到）

建筑用钢级别选择指南¹⁰

谨慎：如下情况发生时，不适用：

- 外观不重要
- 首要目标是结构的完整性（此时，参看4 - 1）

工作流程

- 计算评分
- 对应每个分数，都提供建议使用不锈钢级别的清单

评分标准（参看后续几页幻灯片）：

- i. 环境污染
- ii. 暴露于沿海气候或除冰盐
- iii. 本地天气模式
- iv. 设计上的考虑
- v. 维护计划

i. 环境污染

| | |
|----|--------------------------|
| 分数 | |
| | 农村 |
| 0 | 污染度很低或无污染 |
| | 城市污染（轻工业、汽车尾气） |
| 0 | 低 |
| 2 | 中等 |
| 3 | 高* |
| | 工业污染（（腐蚀性气体，铁的氧化物，化学物质等） |
| 3 | 低度或中等 |
| 4 | 高度* |

* 具有高度腐蚀性的位置。有不锈钢专家评估该位置。

ii. A) 沿海环境暴露

| 分数 | |
|----|--------------------------------------|
| | 暴露于沿海或海洋中盐分 |
| 1 | 低度（距含盐海水1.6 to 16 公里（1 to 10 英里）） ** |
| 3 | 中度（距含盐海水30米 to 1.6 公里（100英尺到1英里） |
| 4 | 高度（距含盐海水<30米（100英尺）） |
| 5 | 海洋环境（撒盐或偶尔的海水泼溅）* |
| 8 | 重度海洋环境（不断的海水泼溅）* |
| 10 | 重度海洋环境（连续浸泡）* |

* 潜在的高腐蚀区。请不锈钢腐蚀专家对其进行评估。

**该范围表明距离大型含盐水体多远能发现氯化物。某些该类型区域会有氯化物，但有些则没有。

ii. B) 除冰盐暴露

| 分数 | 除冰盐暴露（距公路或地表的距离） |
|----|--|
| 0 | 样品中没有检测到盐，暴露条件没有发生变化。 |
| 0 | 附近公路的交通和风力不足以将氯化物带过来，附近人行道也未施用除冰盐 |
| 1 | 低度盐暴露（ ≥ 10 m to 1 km (33 to 3,280 ft) or 3 to 60 层) ** |
| 2 | 低度盐暴露 (< 10 to 500 m (33 to 1600 ft) or 2 to 34 层) ** |
| 3 | 重度盐暴露 (< 3 to 100 m (10 to 328 ft) or 1 to 22 层) ** |
| 4 | 高度盐暴露 (<2 to 50 m (6.5 to 164 ft) or 1 to 3 层) * ** |

*潜在的高腐蚀区。请不锈钢腐蚀专家对其进行评估。

** 该范围显示距离乡村小道和大型交通要道多远能检测该浓度的氯离子。测试表面氯离子的浓度。

注：如果既有海洋暴露，又施用了除冰盐，请向专家咨询

iii. 当地天气模式

| 分数 | |
|----|--------------------------|
| -1 | 温度或气候偏冷，经常下大雨 |
| -1 | 气候偏热或偏冷，典型湿度低于50% |
| 0 | 温度或气候偏冷，偶尔大雨 |
| 0 | 热带或亚热带气候，潮湿，经常或常下大雨 |
| 1 | 气候温暖，不常下雨，湿度超过50% |
| 1 | 经常下小雨或多雾 |
| 2 | 炎热，湿度高于50%，下雨量低甚至没有。 *** |

***如果还有盐和污染风险，请一位不锈钢腐蚀专家到现场评估。

iv. 设计考虑

| 分数 | |
|----|--|
| 0 | 大胆地暴露，便于雨水清洗 |
| 0 | 垂直表面，有纵向磨砂抛光，或者没有表面处理。 |
| -2 | 抛光表面受到盐渍，抛光或粗糙度 $\leq R_a 0.3 \mu\text{m} (12\mu\text{in})$ |
| -1 | 表面光洁度 $R_a 0.3 \mu\text{m} (12\mu\text{in}) < X \leq R_a 0.5 \mu\text{m} (20\mu\text{in})$ |
| 1 | 抛光表面粗糙度 $R_a 0.5 \mu\text{m} (20\mu\text{in}) < X \leq R_a 1 \mu\text{m} (40\mu\text{in})$ |
| 2 | 怕光表面粗糙度 $> R_a 1 \mu\text{m} (40\mu\text{in})$ |
| 1 | 有遮蔽的位置或者未封闭的缝隙 *** |
| 1 | 水平表面s |
| 1 | 横向磨砂抛光 |

*** 如果还有盐和污染风险，请一位不锈钢腐蚀专家到现场评估。

有关表面粗糙度测量：http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/RoughnessMeasurement_EN.pdf

本表格说明，耐腐蚀能力也取决于表面处理。
若要了解更多现有的表面处理信息，请参阅模块8。

V. 维护极化

| 分数 | |
|----|----------|
| 0 | 未清洗 |
| -1 | 至少自然清洗过 |
| -2 | 每年清洗4次以上 |
| -3 | 至少每个月清洗 |

不锈钢选择评分系统

| 总分 | 不锈钢选择 |
|----------|---|
| 0 to 2 | 最经济实惠的是304/304L号钢 |
| 3 | 316/316L或 444号钢是最经济的选择 |
| 4 | 建议使用317L或耐腐蚀能力更强的钢 |
| ≥ 5 | 也许需要耐蚀能力更强的钢，例如4462， 317LMN， 904L， 超双相钢， 超级铁素体或含6%的超级奥体钢。 |

注：请参阅附录查看EN标准名称。

选择合适牌号的不锈钢，会延长其服务周期，免于维护，降低生命周期成本，具有良好的可持续性。关于可持续性的更多信息，请参看模块11。

结论

- 应该关注为特定应用和环境选择合适等级的不锈钢
- 一旦做好选择，不锈钢将无限会提供无限的使用寿命，并且毋需维护。

[模块2](#)罗列了不锈钢成功应用的广泛领域，
[模块1](#)中介绍了不锈钢在全球应用中那些永恒的作品。

5. 参考资料

1. 很好的腐蚀课程。请参看第7章（电偶腐蚀）；第8章（晶间腐蚀），第11章（缝隙腐蚀），第12章（点蚀），第14章（应力腐蚀开裂）和第15章（不锈钢的应力腐蚀开裂） 资料最初来源：<http://corrosion.kaist.ac.kr> 可以这个网址下载：
http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education_references/Zrefs_on_corrosion.zip
2. NACE有关腐蚀的基本知识 <http://corrosion-doctors.org/Corrosion-History/Course.htm#Scope>
3. 腐蚀在线课程n [http://www.corrosionclinic.com/corrosion online lectures/ME303L10.HTM#top](http://www.corrosionclinic.com/corrosion_online_lectures/ME303L10.HTM#top)
4. 电化学测试资料 <http://mee-inc.com/esca.html>
5. 优劲特公司（Ugitech）：私人通讯
6. BSSA（英国不锈钢协会）网站《如何计算抗点蚀当量（PREN）》 <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=111>
7. 关于点蚀：
https://kb.osu.edu/dspace/bitstream/handle/1811/45442/FrankelG_JournalElectrochemicalSociety_1998_v145n6_p2_186-2198.pdf?sequence=1
8. [http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Duplex Stainless Steel 3rd Edition.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Duplex%20Stainless%20Steel%203rd%20Edition.pdf)
9. <http://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/steel-grades.php>
10. [http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/IMOA Houska-Selecting Stainless Steel for Optimum Perormance.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/IMOA_Houska-Selecting%20Stainless%20Steel%20for%20Optimum%20Perormance.pdf)
11. [http://en.wikipedia.org/wiki/Galvanic corrosion](http://en.wikipedia.org/wiki/Galvanic_corrosion)
12. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=668>
13. [http://www.stainless-steel-world.net/pdf/SSW 0812 duplex.pdf](http://www.stainless-steel-world.net/pdf/SSW_0812_duplex.pdf)
14. <http://www.outokumpu.com/en/stainless-steel/grades/duplex/Pages/default.aspx>
15. [http://www.aperam.com/uploads/stainlesseurope/TechnicalPublications/Duplex Maastricht EN-22p-7064Ko.pdf](http://www.aperam.com/uploads/stainlesseurope/TechnicalPublications/Duplex_Maastricht_EN-22p-7064Ko.pdf)
16. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=606>
17. a) 通用不锈钢板材EN 10088-2的化学组成：<http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=44> b) 通用不锈钢长材EN 10088-3的化学成分：<http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=46>

附录：名称¹⁷

| 英文名称 | | 替代名称 | | | |
|-----------------|--------|------|--------|------|---------|
| 钢铁名称 | 钢铁牌号 | AISI | UNS | 其他美国 | 一般/品牌 |
| 铁素体不锈钢-标准牌号 | | | | | |
| X2CrNi12 | 1.4003 | | S40977 | | 3CR12 |
| X2CrTi12 | 1.4512 | 409 | S40900 | | |
| X6CrNiTi12 | 1.4516 | | | | |
| X6Cr13 | 1.4000 | 410S | S41008 | | |
| X6CrAl13 | 1.4002 | 405 | S40500 | | |
| X6Cr17 | 1.4016 | 430 | S43000 | | |
| X3CrTi17 | 1.4510 | 439 | S43035 | | |
| X3CrNb17 | 1.4511 | 430N | | | |
| X6CrMo17-1 | 1.4113 | 434 | S43400 | | |
| X2CrMoTi18-2 | 1.4521 | 444 | S44400 | | |
| 马氏体不锈钢-标准牌号 | | | | | |
| X12Cr13 | 1.4006 | 410 | S41000 | | |
| X20Cr13 | 1.4021 | 420 | S42000 | | |
| X30Cr13 | 1.4028 | 420 | S42000 | | |
| X3CrNiMo13-4 | 1.4313 | | S41500 | F6NM | |
| X4CrNiMo16-5-1 | 1.4418 | | | | 248 SV |
| 马氏体和沉淀-硬化钢-特种牌号 | | | | | |
| X5CrNiCuNb16-4 | 1.4542 | | S17400 | | 17-4 PH |

| 英文名称 | | 替代名称 | | | |
|-------------------|--------|-------|-------------------|------|----------|
| 钢铁名称 | 钢铁牌号 | AISI | UNS | 其他美国 | 一般/品牌 |
| 奥氏体钢-标准牌号 | | | | | |
| X10CrNi18-8 | 1.4310 | 301 | S30100 | | |
| X2CrNi18-9 | 1.4307 | 304L | S30403 | | |
| X2CrNi19-11 | 1.4306 | 304L | S30403 | | |
| X2CrNiN18-10 | 1.4311 | 304LN | S30453 | | |
| X5CrNi18-10 | 1.4301 | 304 | S30400 | | |
| X6CrNiTi18-10 | 1.4541 | 321 | S32100 | | |
| X4CrNi18-12 | 1.4303 | 305 | S30500 | | |
| X2CrNiMo17-12-2 | 1.4404 | 316L | S31603 | | |
| X2CrNiMoN17-11-2 | 1.4406 | 316LN | S31653 | | |
| X5CrNiMo17-12-2 | 1.4401 | 316 | S31600 | | |
| X6CrNiMoTi17-12-2 | 1.4571 | 316Ti | S31635 | | |
| X2CrNiMo17-12-3 | 1.4432 | 316L | S31603 | | |
| X2CrNiMo18-14-3 | 1.4435 | 316L | S31603 | | |
| X2CrNiMoN17-13-5 | 1.4439 | 317L | | | |
| X1NiCrMoCu25-20-5 | 1.4539 | | N08904 | | 904L |
| 奥氏体-铁素体钢-标准牌号 | | | | | |
| X2CrNiN22-2 | 1.4062 | | S32202 | | DX 2202 |
| X2CrMnNiMoN21-5-3 | 1.4482 | | S32001 | | |
| X2CrMnNiN21-5-1 | 1.4162 | | S32101 | | 2101 LDX |
| X2CrNiN23-4 | 1.4362 | | S32304 | | 2304 |
| X2CrNiMoN12-5-3 | 1.4462 | | S31803/ S32205 | F51 | 2205 |

注：这是一个简化的表格。针对具体等级，请参看附件 17。

谢谢！

建筑/土木工程发言稿

第07A章：

不锈钢钢筋的结构应用

参见：stainlesssteelrebar.org

选错材料，会引发大问题





案例教材： 蒙特利尔Turcot立交桥出现了腐蚀^{1,2}

- 位于德卡利高速（南北向）和维尔玛丽（东西向）高速公路的主要立交桥建于1996年。
- 每天超过30万辆车
- 材料为钢筋混凝土，由于使用除冰盐，目前腐蚀情况很严重

将被替换掉

- 要不就去掉，要不就部分替换掉，这样就不用经常监督，经常维护，
 - 目前估计成本为30亿加元
 - 此外处于安全考虑，还需要花2.54亿加元，知道2018年完全替换掉。
- 结构的寿命将只有50年！

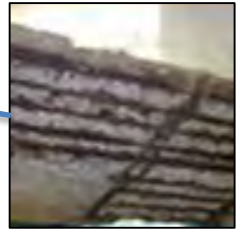
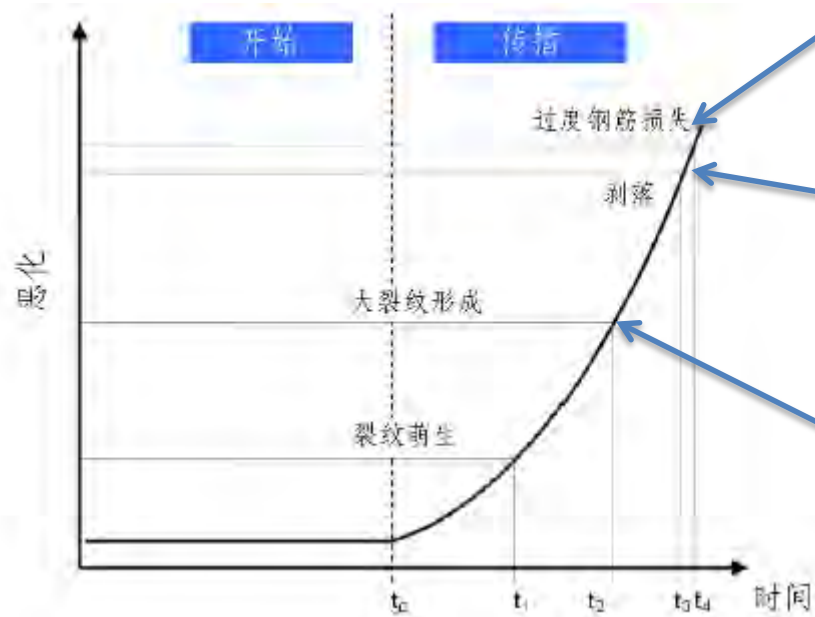


腐蚀如何破坏钢筋混凝土的

腐蚀离子（通常是氯化物）在混凝土中的扩散

步骤³:

1. 一旦腐蚀离子到达碳钢筋 (t_0)，腐蚀就出现了
2. 腐蚀产物的体积要大于钢，会产生向外的压力
3. 混凝土出现开裂 (t_1)，氯离子容易进入
4. 混凝土层开裂（剥落） (t_3)，露出钢筋
5. 如果不管它，会继续腐蚀，知道钢筋无法支撑产生的拉伸应力，于是结构会坍塌 (t_4)



混凝土裂缝加速腐蚀

混凝土经常会出现开裂，腐蚀离子会通过这些裂纹，快速接触钢。

开裂形成的原因（参考4）。

请注意，开裂不是立刻出现的，它也会出现在无法维修的封闭区域。

| 开裂种类 | 开裂的形状 | 主要原因 | 出现的事件 |
|--------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| 塑性沉降 | 在上边，和钢筋平齐 | 钢筋周围沉降；混合物中水分过多 | 10 分钟到三个小时 |
| 塑性收缩 | 对角线或随机 | 过早蒸发 | 30 分钟到6个小时 |
| 热膨胀与收缩 | 横向（例如：横穿人行道） | 产生过多热量，或者产生温度梯度 | 一、两天或三周 |
| 干燥收缩 | 横向或花纹 | 混合物中水分过多；接头位置不好，接头间距过大。 | 几周到几个月 |
| 冻结和解冻 | 与混凝土表面水平 | 加气处理不充分；非耐久粗骨料 | 一个或更多的冬天 |
| 钢筋腐蚀 | 在钢筋上方 | 混凝土保护层不足；水分和氯离子锈蚀 | 两年多 |
| 碱骨料反应 | 花纹开裂；与接头处或边界平行 | 活性骨料加水分 | 典型情况下是五年多，但是有了高活性骨料，会更快 |
| 硫酸盐反应 | 花纹开裂 | 内部和外部的硫酸盐形成钙矾石 | 一到五年 |

选择合适材料是良好的长期投资

普罗格勒索码头(1/3)^{5,6}



1970年墨西哥普罗格勒索修建了一个码头。
海洋环境腐蚀碳钢钢筋——结构坍塌了。

普罗格勒索码头(2/3)



隔壁的码头是在1937 - 1941 期间建成的，里面用了不锈钢钢筋。

普罗格勒索码头 (3/3)

用不锈钢建设的
可持续性
的土木工程



自此之后，就不需维护，并保持原装。

目前，重大的土木工程的寿命
必须超过100年

Haynes Inlet Slough桥，美国俄勒冈2004^{7,8}

这是一座不同寻常的拱桥，桥体用了中400吨不锈钢钢筋。

230米长跨越海恩斯入口沼泽的拱桥的预计使用寿命是12年，而且毋需维护。

尽管不锈钢成本比普通钢高很多，但是全生命周期却大幅得以节约。





港珠澳大桥⁹ (建设始于2009年, 2018完工)

著名的港珠澳大桥是全球最大的桥梁项目之一。使用寿命为免维修120年。因此大桥结构的关键区域, 主要是海水泼溅区, 使用了不锈钢钢筋。该桥共使用了150亿吨的不锈钢。



布罗德梅多桥，爱尔兰都柏林（2003）¹⁰

是布罗德梅多河口新建的一座大桥，桥柱和护墙共使用了10500万吨不锈钢钢筋。

海堤维护，法国贝约讷

海堤修建于60年代，用来保护海港入口

海堤临海那面要高一些，由40吨砖砌成，由于暴雨的侵蚀，需要替换。

临河面由7米宽的平台，重型吊车可以在这个平台上作业。

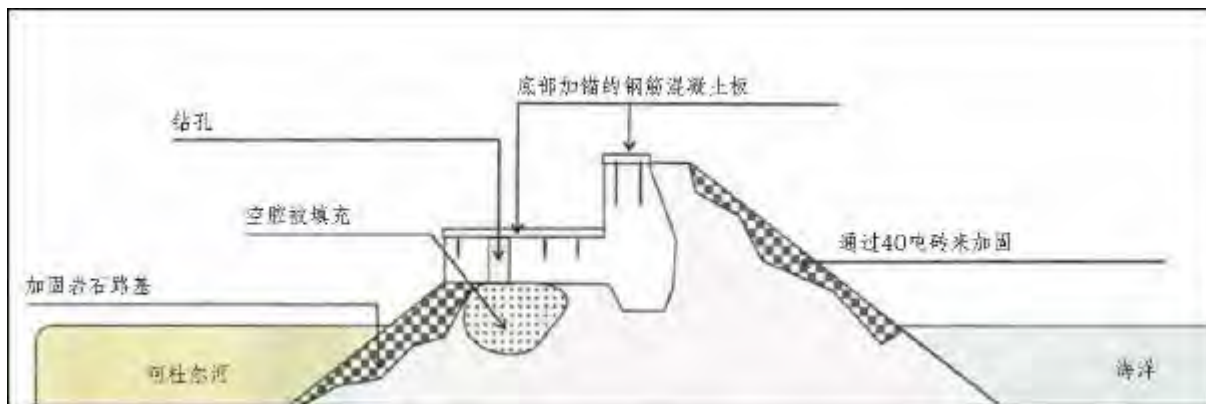


航拍图

除了裂缝的甲板和墙体需要维修



海堤的横截面



海堤修复，法国巴约讷

平台和海堤使用了节约型双相不锈钢钢筋（EN 1.4362）¹¹

正在维修的海堤

2014年出坝上的大风





香港昂船洲大桥^{12, 13}

全球跨度第二大斜拉桥，整体跨度为1,018米

桥塔高298米，斜拉索锚固区的结构钢重1600吨，桥塔的钢筋混凝土下部的不锈钢钢筋重2800吨。



带状公园大道，美国布鲁克林（2004）¹⁴

为了确保大道的耐久性（100年），并且在当地海洋环境及道路盐环境中的耐腐蚀性，桥梁组件和栏杆护栏因此使用了不锈钢2205钢筋。

什么时候考虑选用不锈钢钢筋¹⁵⁻²⁰：

- 在腐蚀环境中：
- 海水甚至在炎热其后区域使用更多：
 - 桥梁
 - 桥墩
 - 码头
 - 灯柱锚，栏杆….
 - 海堤
 - …..
- 除冰盐
 - 桥梁
 - 交通立交桥和交叉口
 - 停车场
- 废水处理罐
- 海水淡化厂
- I需要较长使用寿命的结构
 - 修复历史建筑结构
 - 核废物存储
- 在下列环境里，
 - 不可能检查的地方，
 - 不可能修理的地方，或者修理费用昂贵的位置

不锈钢棒和其他方案的比较¹⁵⁻²⁰

| | 优点 | 缺点 |
|---------|---|--|
| 环氧树脂涂料 | 初始成本更低 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 不能弯曲，否则会断裂 ▪ 需要审慎处理，避免安装损坏 |
| 镀锌 | 初始成本更低 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 不能弯曲，容易断裂 ▪ 一旦镀锌层被腐蚀，就不能用了。 |
| 纤维增强聚合物 | 初始成本更低 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 不能弯曲，容易断裂 ▪ 不耐热，在寒冬离的耐冲击性很差 ▪ 刚度低于不锈钢 ▪ 不能回收 |
| 不锈钢 | 较低的生命周期成本： <ul style="list-style-type: none"> • 与碳钢的设计类似 • 碳钢不锈钢混合钢筋表现良好 • 易于安装，不受做工好坏的影响 • 不需要维护 • 没有寿命限制 • 水泥层可以更薄 • 更好的耐火性 • 100% 回收为优质钢 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 初始成本更高，但如果考虑下列方案，只会高几个百分点 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 关键区域选用不锈钢 ✓ 选用节约型双相钢 |

不锈钢钢筋与其他方案的比较¹⁵⁻²⁰

| | 优点 | 缺点 |
|---------|------------------|--|
| 阴极保护 | 初始成本低? 通常用于修护 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 需要为整体保护进行精心设计 ▪ 为了维持正确的电触点，需要仔细安装 ▪ 需要永久性电源（需要监测与维护），需要监测和更换受损阳极 |
| 膜 / 密封胶 | 初始成本低? | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 需要小心安装（气泡） ▪ 不能在任何天气离安装 ▪ 长期的表现值得商榷 ▪ 只限于水平表面 |

参考资料

1. <http://www.lapresse.ca/actualites/montreal/201111/25/01-4471833-echangeur-turcot-254-millions-pour-lentretien-avant-la-demolition.php>
2. <http://www.ledevoir.com/politique/quebec/336978/echangeur-turcot-quebec-confirme-le-mauvais-etat-des-structures>
3. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education references/Ref07 The use of predictive models in specifying selective use of stainless steel reinforcement.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education%20references/Ref07%20The%20use%20of%20predictive%20models%20in%20specifying%20selective%20use%20of%20stainless%20steel%20reinforcement.pdf)
4. <http://www.nachi.org/visual-inspection-concrete.htm> 混凝土目检
5. <http://www.nickelinstitute.org/en/Sustainability/LifeCycleManagement/LifeCycleAssessments/LCAProgresoPier.aspx>
(普罗格雷索Progreso码头)
6. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education references/Ref08 Special-issue-stainless-steel-rebar-Acom.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education%20references/Ref08%20Special-issue-stainless-steel-rebar-Acom.pdf)
7. <https://www.roadsbridges.com/willing-bend-0> (俄勒冈)
8. <http://structurae.net/structures/data/index.cfm?id=s0011506> (俄勒冈)
9. <http://www.aeonline.ae/major-hong-kong-stainless-steel-rebar-contract-signed-by-arminox-middle-east-42317/news.html> (香港澳门)
10. <http://www.engineersireland.ie/EngineersIreland/media/SiteMedia/groups/Divisions/civil/Broadmeadow-Estuary-Bridge-Integration-of-Design-and-Construction.pdf?ext=.pdf> (布罗德梅多Broadmeadow)
11. 由优劲特公司提供
12. [http://www.arup.com/Projects/Stonecutters Bridge.aspx](http://www.arup.com/Projects/Stonecutters%20Bridge.aspx) (昂船洲大桥)
13. [https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/Structural/Stonecutters bridge towers Chinese version.pdf](https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/Structural/Stonecutters%20bridge%20towers%20Chinese%20version.pdf) (昂船洲大桥)
14. [http://www.cif.org/noms/2008/24 - Ocean Parkway Belt Bridge.pdf](http://www.cif.org/noms/2008/24%20-%20Ocean%20Parkway%20Belt%20Bridge.pdf) (纽约市环路大桥)
15. 增强不锈钢: 耐久的选择(法国) <http://www.infociments.fr/publications/ciments-betons/collection-technique-cimbeton/ct-t81>
16. Armaduras de Acero Inoxidable (西班牙)
<http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/59armadurasaceroinoxidable.pdf>
17. www.ukcares.com/downloads/guides/PART7.pdf
18. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education references/Ref19 Case study of progreso pier.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education%20references/Ref19%20Case%20study%20of%20progreso%20pier.pdf)
19. <http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/Prrapp%20405.pdf> (通用)
20. [http://americanarminox.com/Purdue University Report - Stainless Steel Life Cycle Costing.pdf](http://americanarminox.com/Purdue%20University%20Report%20-%20Stainless%20Steel%20Life%20Cycle%20Costing.pdf) (使用不锈钢钢筋的优点)
21. <http://www.stainlesssteelrebar.org>

NEW!

电流耦合参考

1. L. Bertolini, M. Gastaldi, T. Pastore, M. P. Pedefferri以及P. Pedefferri, 钢筋混凝土中的碳钢与不锈钢钢筋的电耦合效应, 国际钢筋混凝土结构的腐蚀与修复会议, 1998年, 佛罗里达州奥兰多。
2. A. Knudsen, EM. Jensen, O. Klinghoffer以及T. Skovsgaard, 通过智能利用不锈钢筋以经济有效的方式提高混凝土结构的耐久性, 国际钢筋混凝土结构腐蚀与修复会议, 1998年, 佛罗里达州奥兰多。
3. L. Bertolini, M. Gastaldi, T. Pastore及M. P. Pedefferri, 化学成分对氯化物污染和碳化混凝土中不锈钢腐蚀行为的影响, 特性与性能, 第三届欧洲不锈钢大会论文集, 1999年, 第三卷, 池亚拉古纳, AIM酒店。
4. O. Klinghoffer, T. Frolund, B. Kofoed, A. Knudsen, EM. Jensen及T. Skovsgaard, 奥体钢AISI 316在混凝土中的应用和经济效益, 混凝土中钢筋的腐蚀: 腐蚀原理和腐蚀保护, 2000年, Mietz, J., Polder, R. 和 Elsener, B., Eds, 伦敦。
5. Knudsen和T. Skovsgaard, 不锈钢加固, 混凝土工程, 2001年, 第5卷(3), 59页。L. Bertolini和 P. Pedefferri, 使用不锈钢改善钢筋混凝土耐久性的实验室与现场经验, 腐蚀评论, 2002年, 第20卷, 129页。
6. [S. Qian](#), [D. Qu](#) & [G. Coates](#) 碳钢与不锈钢间的电耦合, 加拿大冶金季刊, 第45卷, 2006年第4期, 475-483页, 线上发布: 2013年7月18日。
7. J. T. Pérez-Quiroz, J. Teran, M. J. Herrera, M. Martinez, J. Genesca: 混凝土结构修复中对不锈钢钢筋的评估, J. 建设用钢杂志 (2008年) doi:10.1016/j.jcsr.2008.07.024
8. Juliana Lopes Cardoso / Adriana de Araujo / Mayara Stecanella Pacheco / Jose Luis Serra Ribeiro / Zehbour Panossian 海洋环境用不锈钢钢筋: 研究同样混凝土结构中碳钢的电蚀效应 (2018) [https://store.nace.org/stainless-steel-rebar-for-marine-environment-a-study-of-galvanic-corrosion-with-carbon-steel-rebar-used-in-the-same-concrete-structure]。 产品编号: 51318-11312-SG
9. <http://stainlesssteelrebar.org/>

谢谢！

建筑/土木工程发言报告

第7B章

不锈钢扁平材产品的结构应用

不锈钢结构钢 用不锈钢来设计

Barbara Rossi和Maarten Fortan
土工工程系，比利时鲁汶大学

在Nancy Baddoo的初稿基础上完成
钢结构研究协会，英国Ascot公司



大纲

- 结构应用案例
- 机械特点
- 根据欧洲规范3进行设计
- 其他方法
- 挠度
- 其他信息
- 工程师资源



第1部分

结构应用案例



根特圣彼得火车站（比利时）

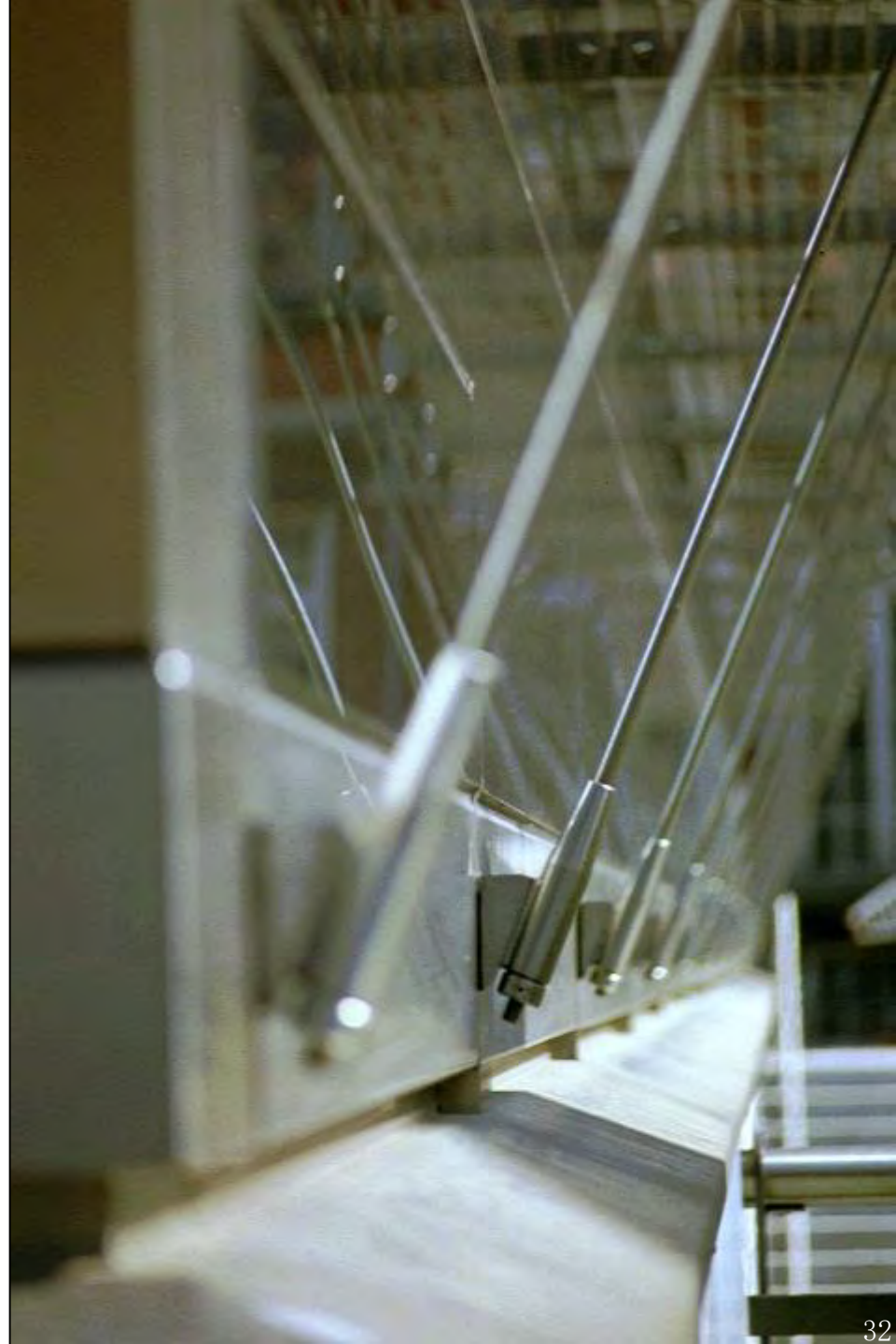
设计单位：Wefirna

建设单位：THV Van Laere-
Braeckel Aero



布鲁塞尔军校
设计单位：
AR.TE

建设单位：
Tractebel
Development





巴黎大拱门

设计单位: Johan Otto
von Spreckelsen

建设单位: Paul Andreu





不锈钢别墅（芬兰）

法国圣拉扎尔透视组 (法国)

设计单位: Arte
Charpentiers &
Associés

建设单位: Mitsu
Edwards



波尔图车站（葡萄牙）



意大利米兰Torno Internazionale S.P.A. 总部
大楼，EN 1.4404

设计单位：Dante O. BENINI 及合伙人建筑公司



图片：Toni Nicolino / Nicola Giacomini

核电厂的不锈钢架



图片：Stainless Structurals LLC

不锈钢外墙支撑，
坦帕（美国）



图片：TriPyramid Structures, Inc.

不锈钢工字梁，
泰晤士河口区水处理工程，（英国）



图片：Interserve

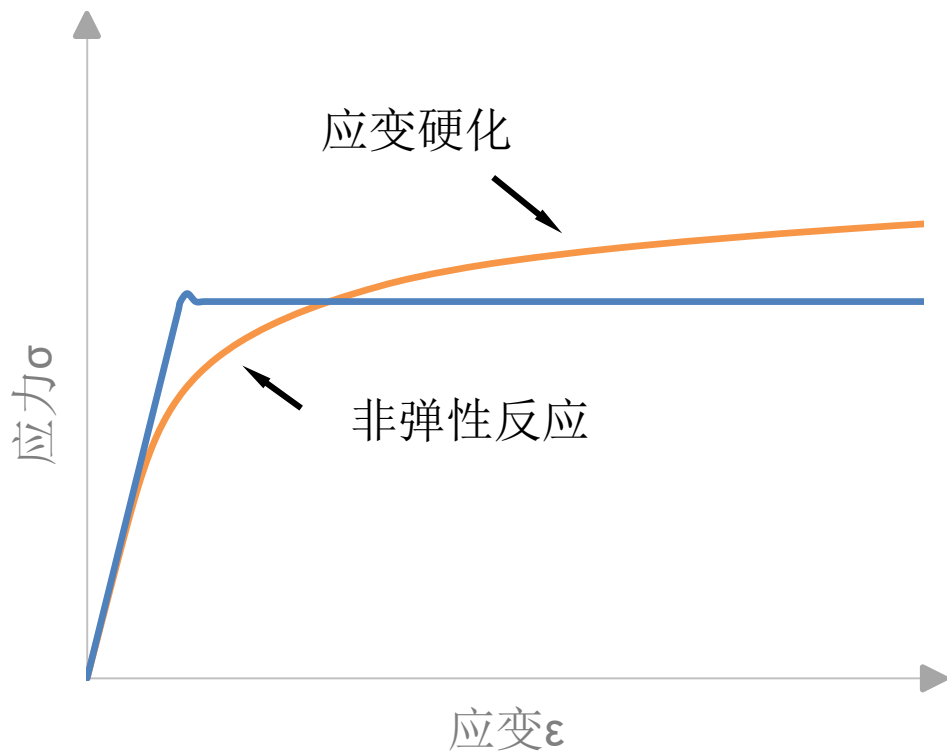


第2部分

材料的机械特性

应力-应变特性 碳钢对比不锈钢

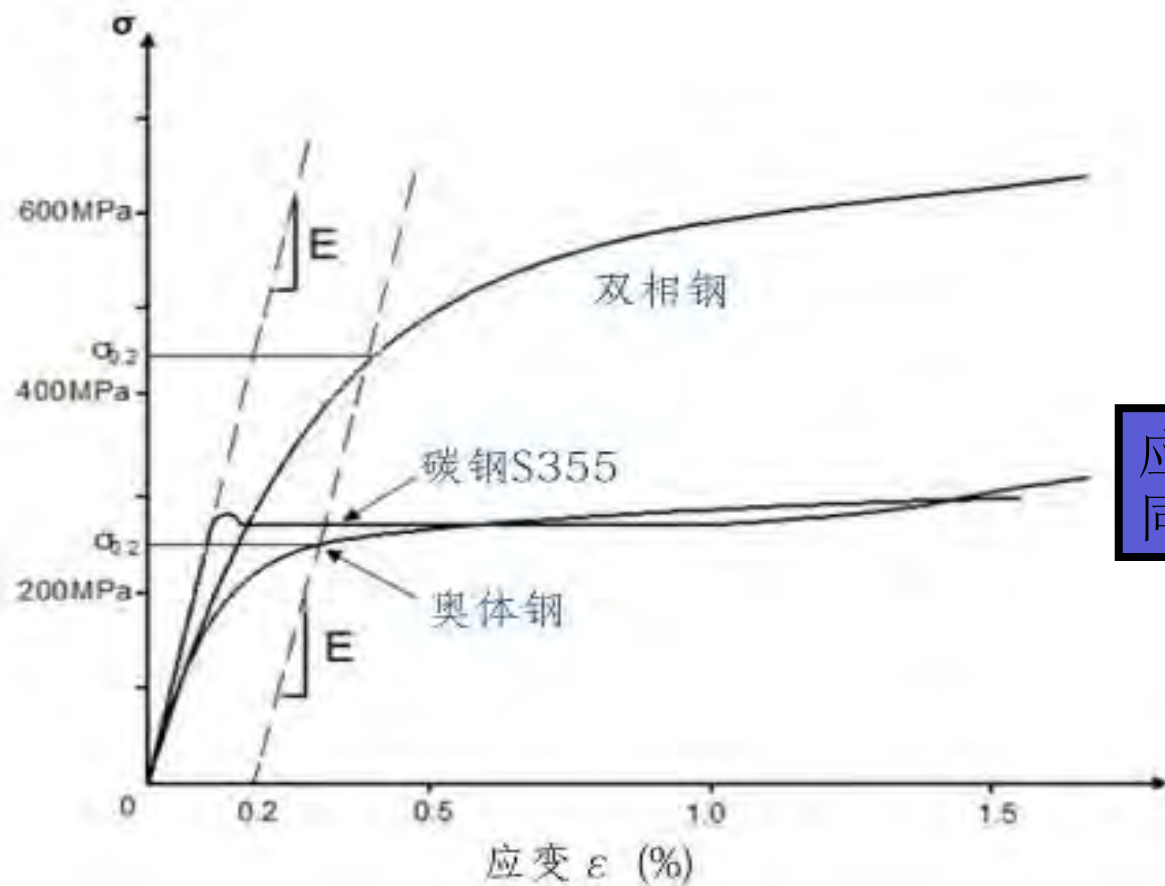
- 不锈钢与碳钢的 $\sigma - \varepsilon$ 特性有着根本性的差异。



碳钢有界定清晰的屈服点和塑性屈服坪

不锈钢点屈服行为是渐进性的，有较高的应变硬化。

应力-应变特性——低应变



应力-应变反应根据不同类别有所不同。

不锈钢的设计强度

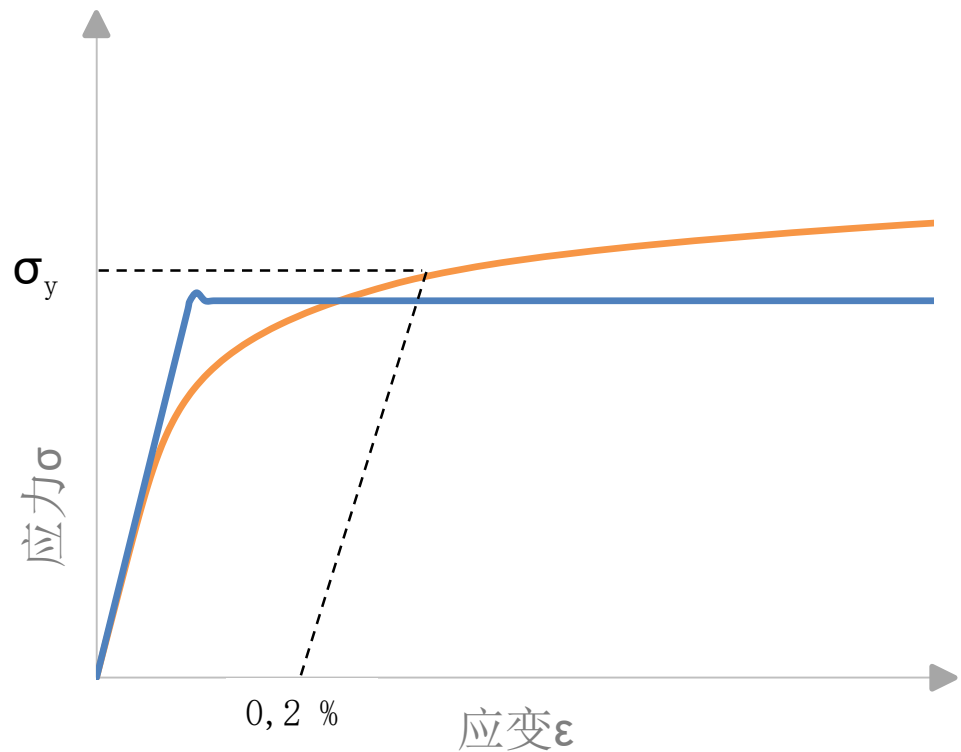
EN 10088-4和-5的最低
保证强度为0.2%

奥体钢: $f_y = 220-350$ MPa

双相钢: $f_y = 400-480$ Mpa

铁素体钢: $f_y = 210-280$ MPa

杨氏模量: $E=200,000$ to $220,000$
MPa



不锈钢的设计强度

| 等级 | 类别 | 屈服强度 (N/mm ²) 0.2% 保证 强度 | 极限强度 (N/mm ²) | 杨氏模量 (N/mm ²) | 断裂应变 (%) |
|-----------------|-----|---|------------------------------|------------------------------|-------------|
| 1.4301 (304) | 奥体钢 | 210 | 520 | 200000 | 45 |
| 1.4401 (316) | 奥体钢 | 220 | 520 | 200000 | 40 |
| 1.4062 | 双相钢 | 450 | 650 | 200000 | |
| 1.4462 | 双相钢 | 460 | 640 | 200000 | |
| 1.4003 | 铁素体 | 250 | 450 | 220000 | |

应变硬化

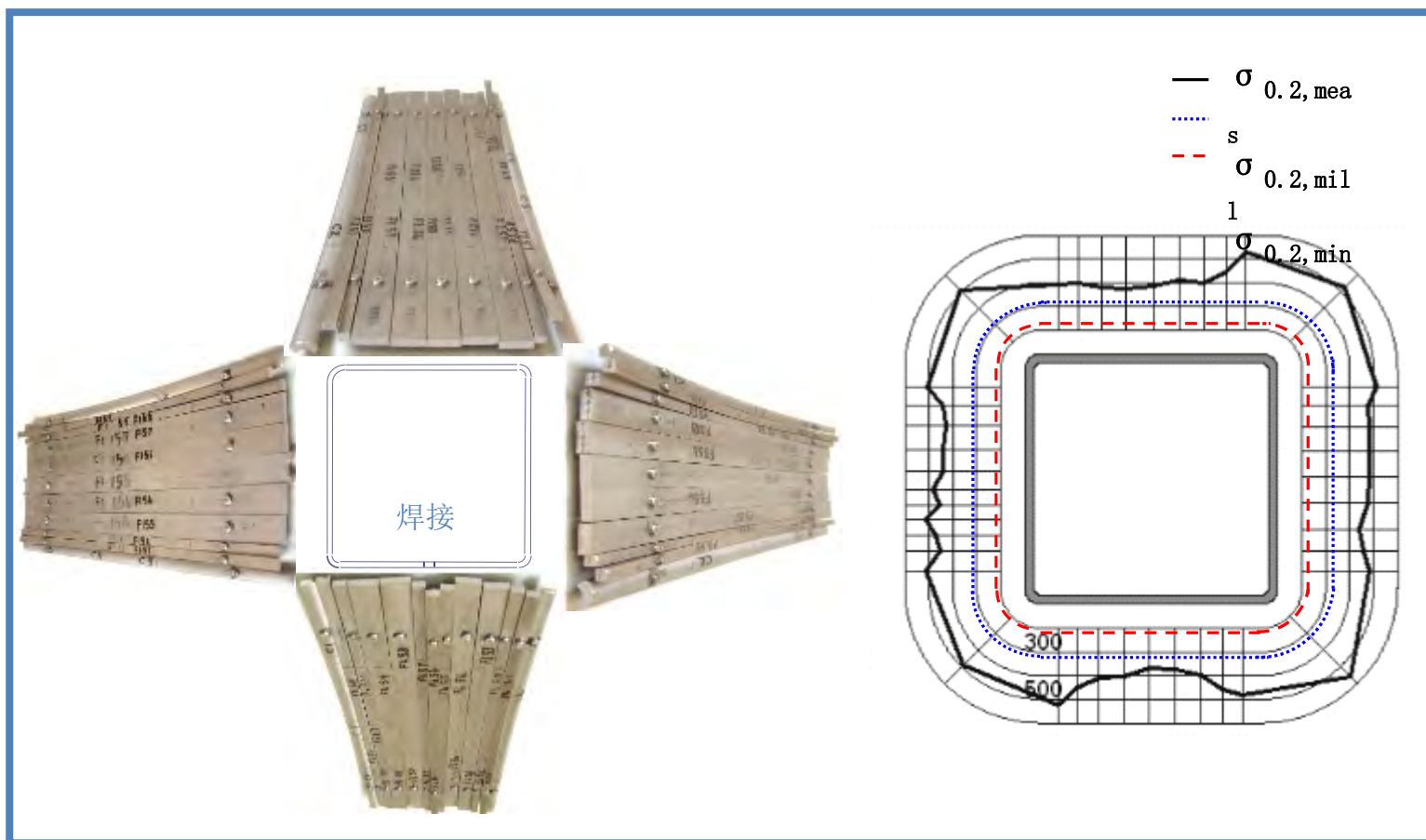
（加工硬化或冷加工）

- 通过塑性变形增加强度
- 钢厂钢铁生产操作中，或者在制造工艺中冷成形产生的应变硬化

在生产矩形空心型材的过程中，交叉处冷弯角0.2%的保证强度会提高50%左右！

应变硬化 (加工硬化或冷加工)

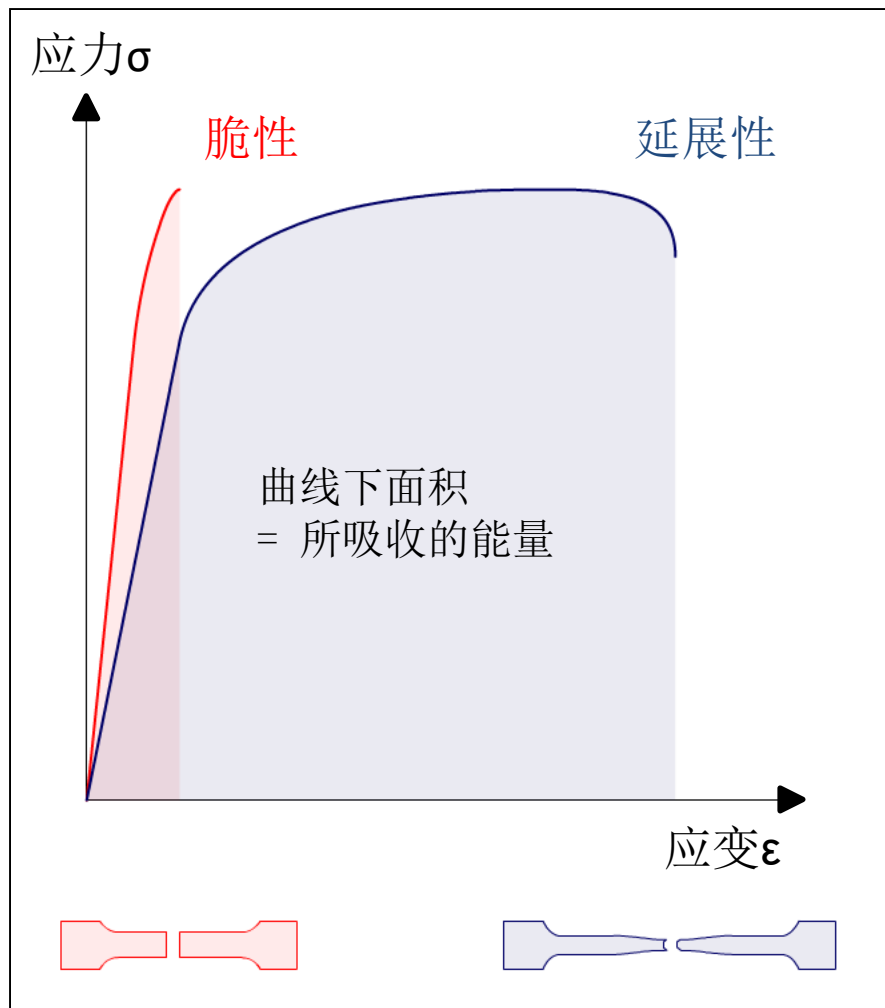
- 在成型过程中强度得以加强



应变硬化——不总是有用

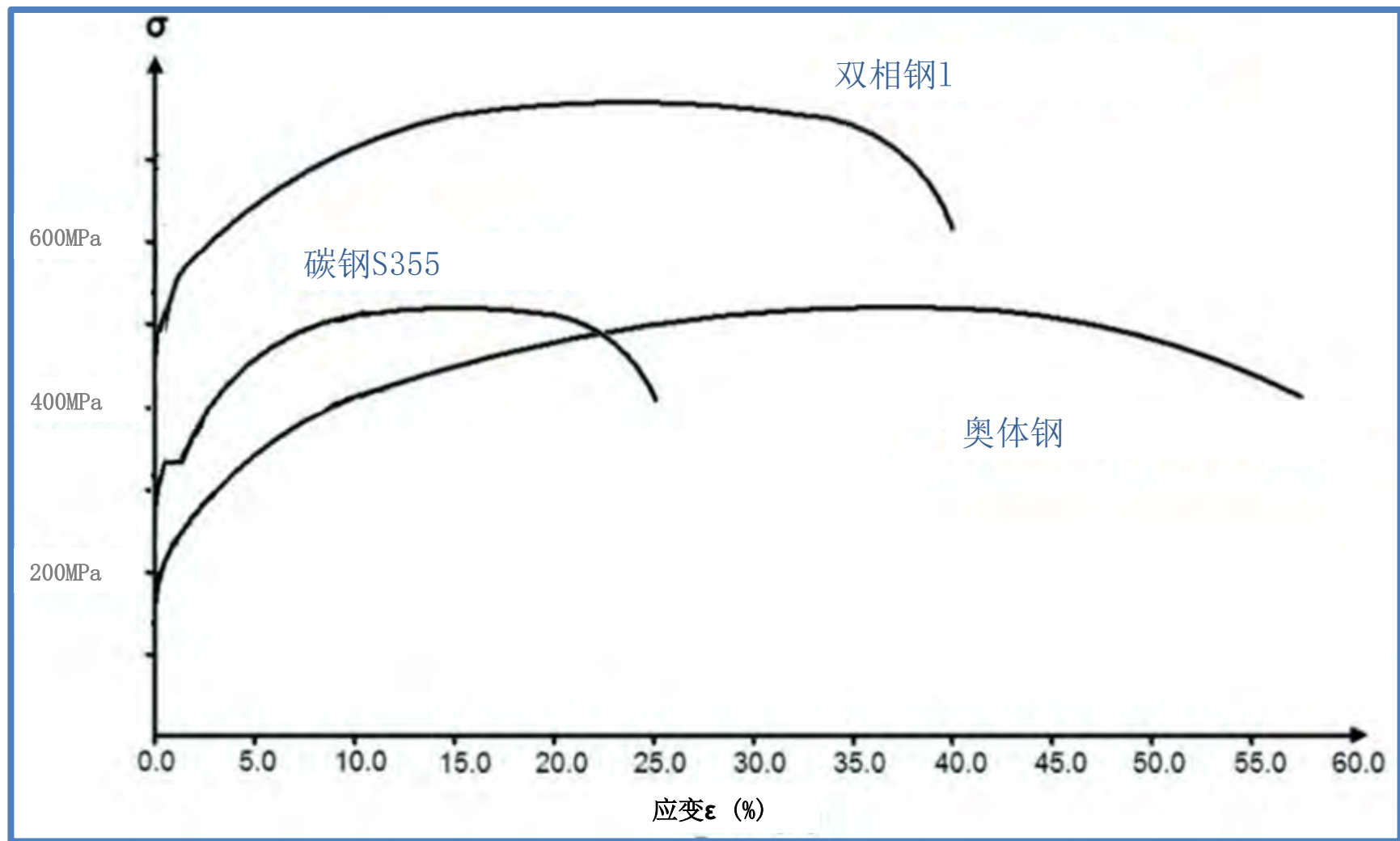
- 更重、功率更大的制造设备
- 需要更大的力
- 延展性减少（但是，初期延展性较高，尤其是奥体钢）
- 可能产生无用的的残余应力

延展性和韧性



- 延展性- 能够延展，但不会破裂的能力
- 韧性- 吸收能量和塑性变形但不会发生折裂的能力

应力-应变特点 - 高应变





爆炸/耐冲击结构



安全护柱



正在生产海洋平台上端的梯形抗暴墙。

应力-应变特点

- 非线性.....会导致
 - 局部压屈的不同限度的宽厚比
 - 受压和弯曲中的不同构件的屈曲行为
 - 更大的挠度

对屈曲性能的影响

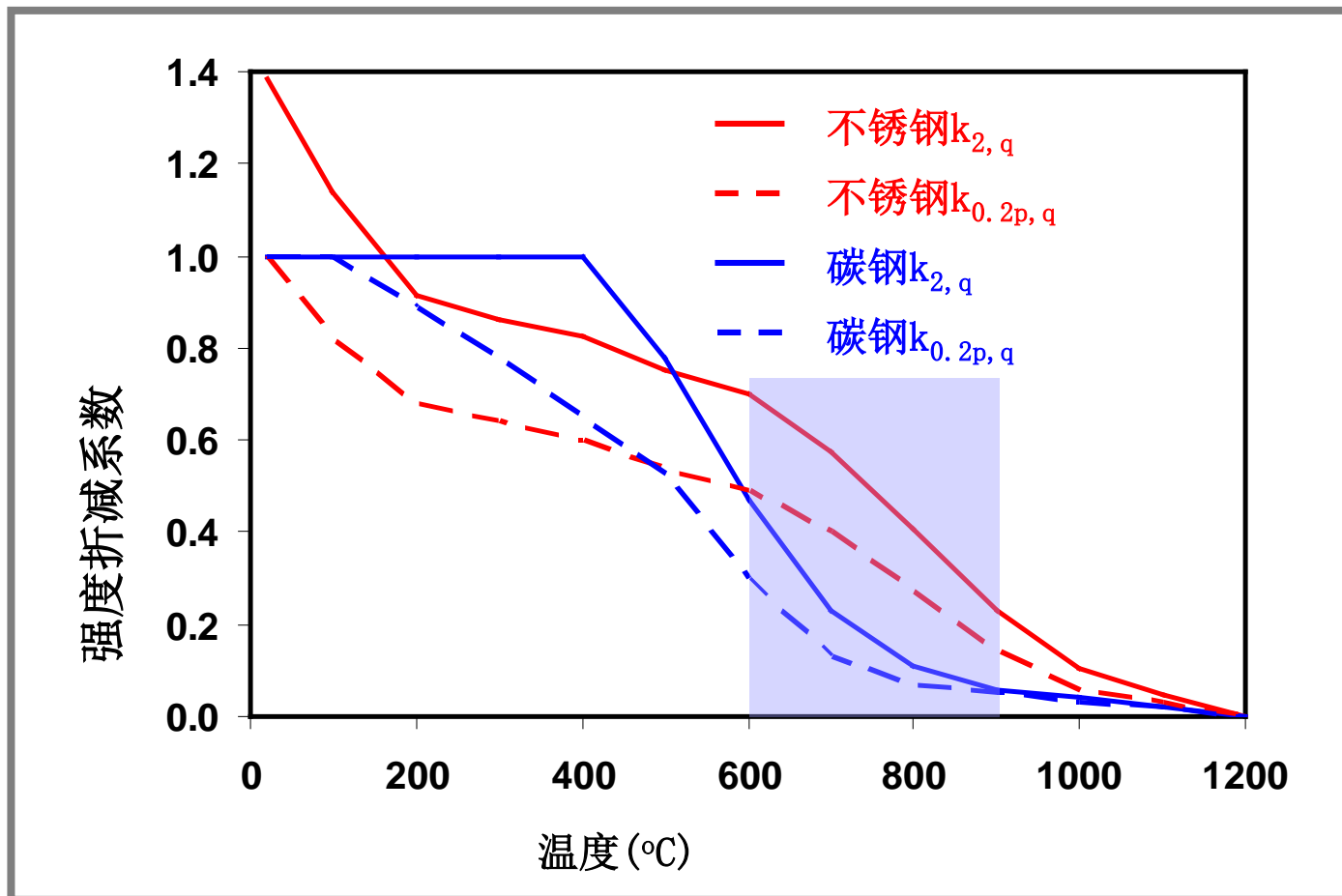
- 低长径比
- 钢柱达到/超过挤压负荷
- - ⇒ 应变硬化的好处很明显
- 不锈钢的性能和碳钢至少一样好

- 高长径比
- 轴向强度低，线性区域应力低
 - ⇒ 在几何与残余应力相似的情况下，不锈钢与碳钢的性能类似

对屈曲性能的影响

- 中等长径比
柱的平均应力在比例极限和0.2%的永久应力之间，
⇒ 不锈钢柱的强度不如碳钢柱的大

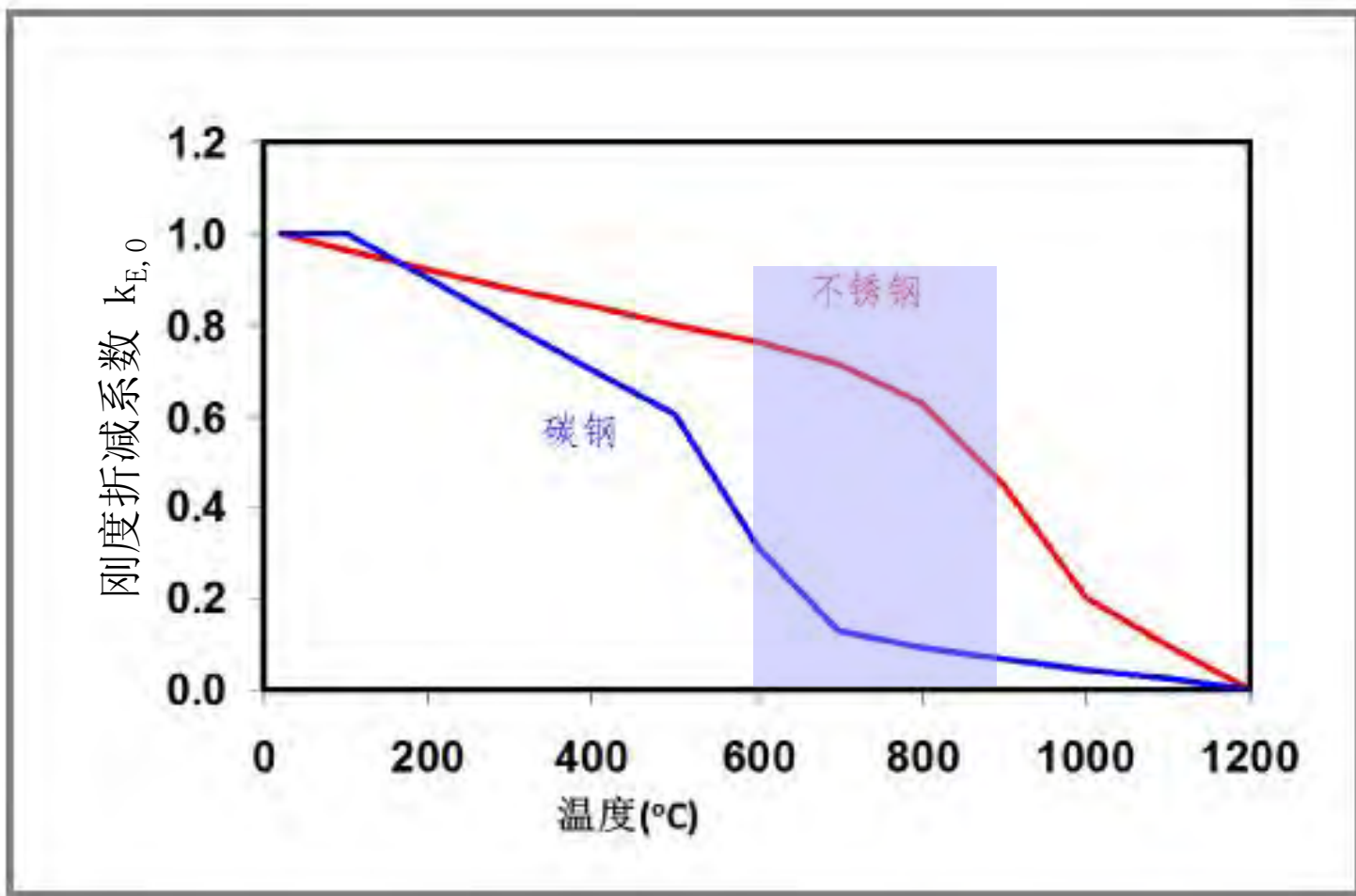
温度升高时的材料



$k_{0.2p,q}$ = 在 0.2% 保证应变时的强度折减系数

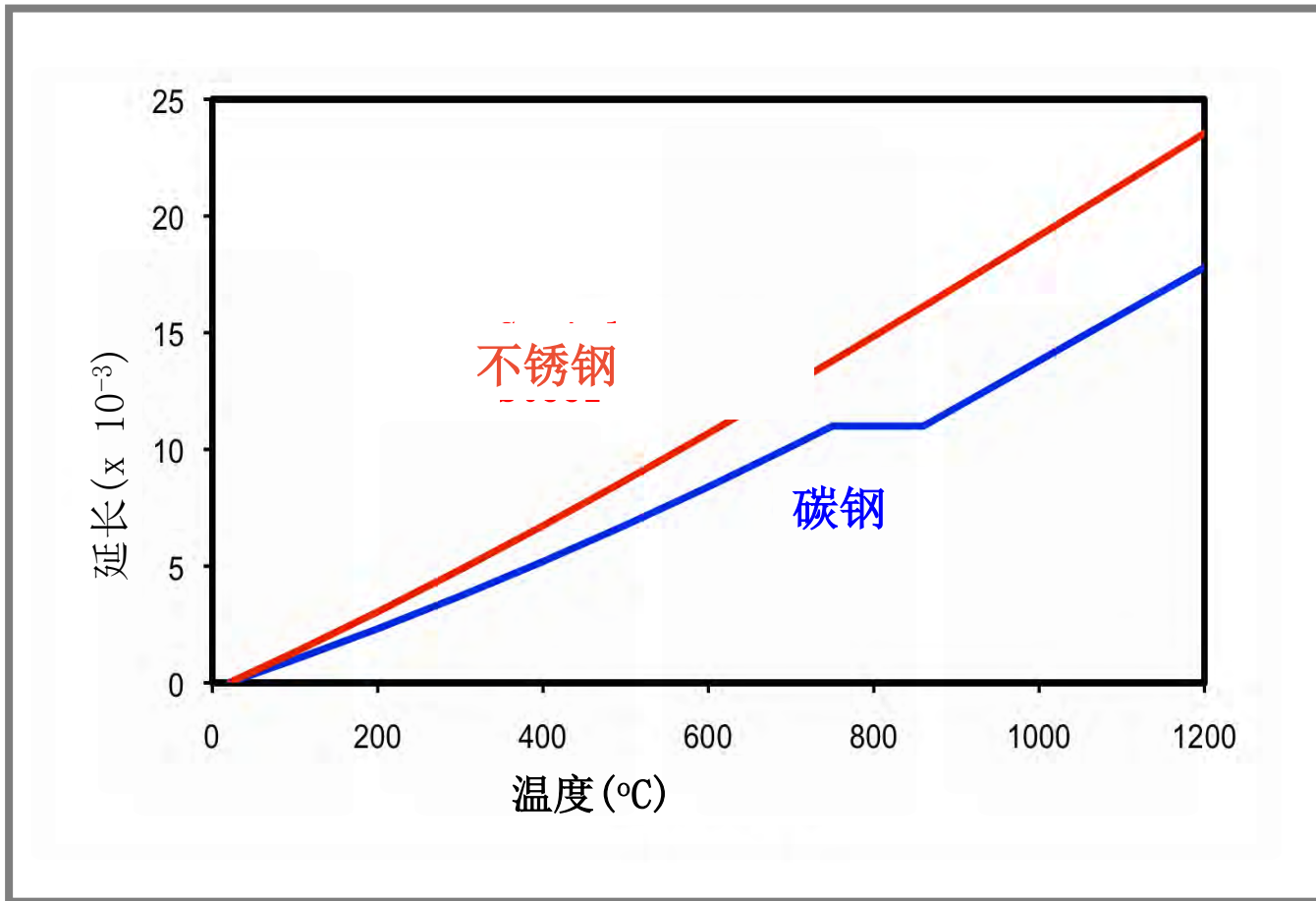
$k_{2,q}$ = 2% 总体应变时的强度折减系数

温度升高时的材料



刚度折减系数

温度升高时的材料



热膨胀

第4部分

按照欧洲建筑规范3进行设计

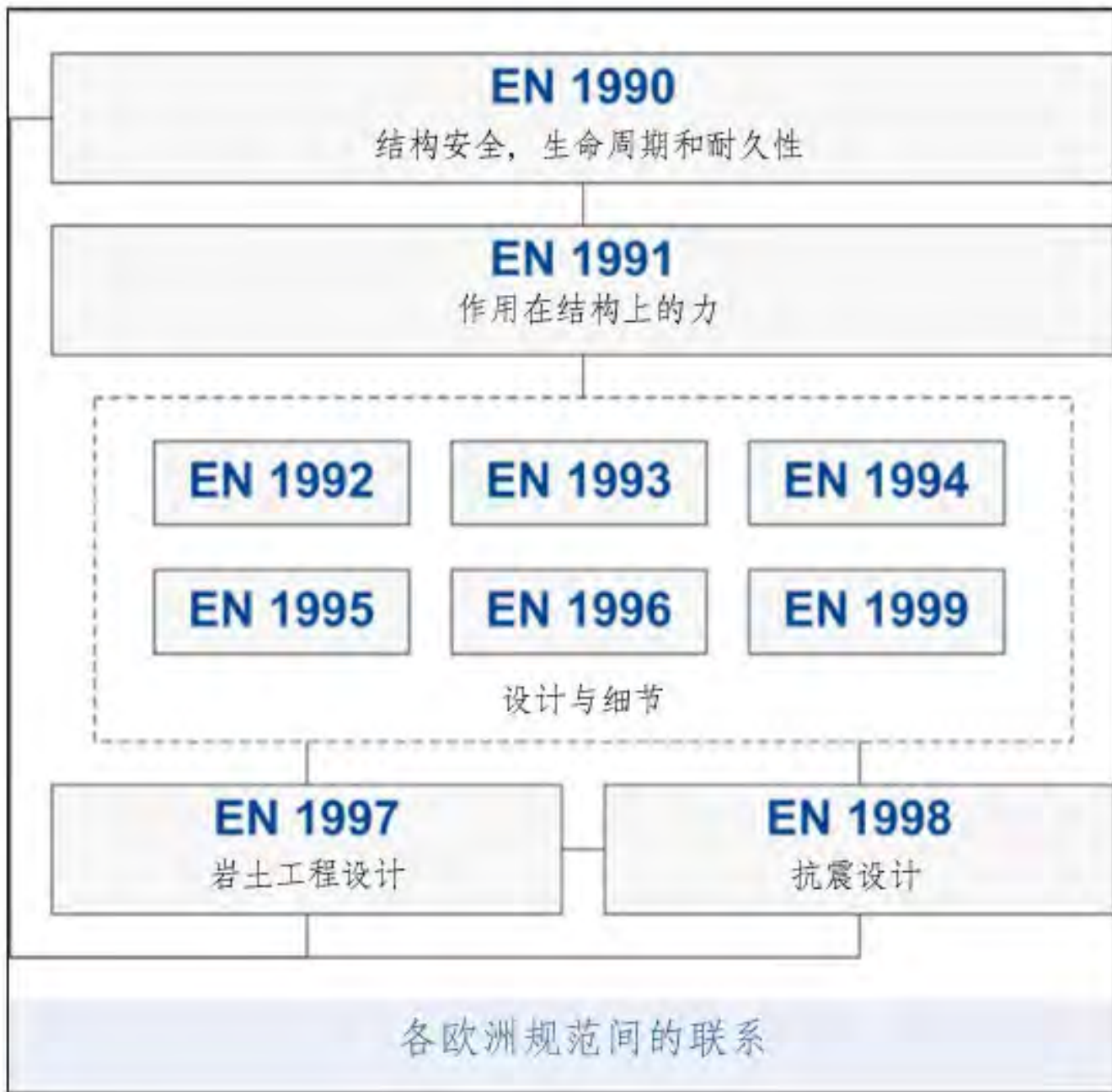


国际设计标准

结构不锈钢有哪些设计标准？



Hamilton Island 游艇聚乐部，澳大利亚

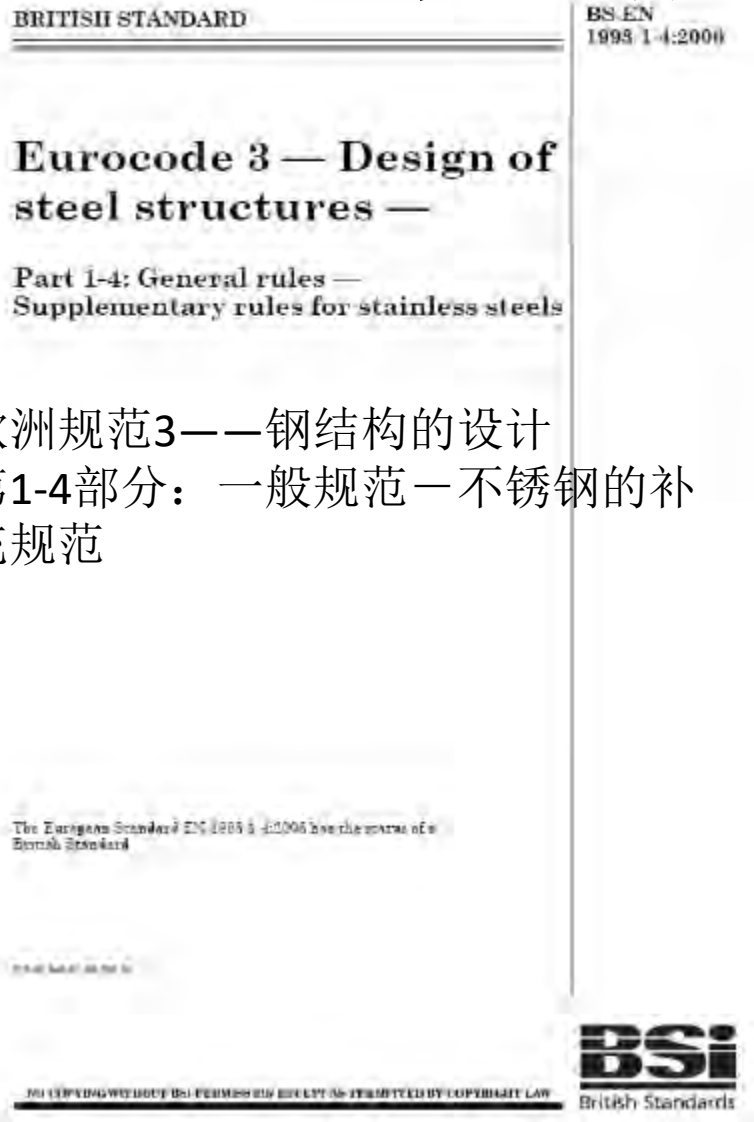


欧洲建筑规范综合了所有常见建筑材料的结构设计规范

欧洲规范3：第1部分（EN 1993-1）

- EN 1993-1-1 通用规定及建筑规定。
- EN 1993-1-2 结构防火设计。
- EN 1993-1-3 冷弯成型构件及钢板补充规定。
- EN 1993-1-4 不锈钢补充规范。
- EN 1993-1-5 电镀结构部件。
- EN 1993-1-6 壳机构的强度和稳定性。
- EN 1993-1-7 横向荷载的叠板结构构件的强度及稳定。
- EN 1993-1-8 节点设计。
- EN 1993-1-9 不锈钢的疲劳强度。
- EN 1993-1-10 材料的韧性及全厚度属性。
- EN 1993-1-11 受拉构件结构设计。
- EN 1993-1-12 高强度钢的补充规范。

欧洲规范3： 钢结构设计， 第1.4部分： 不锈钢补充规范



钢结构的设计。
不锈钢补充规范（2006）

- 欧洲规范3其他部分使用的修订及补充准则
- 适用于建筑、桥梁、储池等。

欧洲规范3——钢结构的设计
第1-4部分：一般规范—不锈钢的补充规范

欧洲建筑规范3：钢结构设计， 第1.4部分：不锈钢补充规范

- 和碳钢的基本方法相同
- 与碳钢抗拉构件和约束梁有同样规定
- 由于下列原因，型材分类限制、局部屈曲及构件屈曲曲线应用会有所差异：
 - 非线性应力应变曲线
 - 应变硬化特点
 - 残余应力水平的差异

欧洲规范3：钢结构设计， 第1.4部分：不锈钢补充规范

构件类型

- 热轧焊接
- 冷弯成型
- 钢棒

等级的数量

| 类别 | EC3-1-4 | 未来修改 |
|-----|---------|------|
| 铁素体 | 3 | 3 |
| 奥氏体 | 16 | 16 |
| 双相 | 2 | 6 |

范围

- 构件和连接件
- 耐火（参考EN 1993-1-2）
- 疲劳（参考EN 1993-1-9）

其他设计规范

- 日本——两个规范，一个用于冷弯构件，另一个用于焊接不锈钢构件
- 南非、澳大利亚和新西兰——冷弯不锈钢构件的标准
- 中国——标准正在开发中
- 美国——ASCE冷弯构件规格，AISC热轧和焊接结构钢设计指南

欧洲规范3：钢结构设计， 第1.4部分：不锈钢补充规范

在EN 1993-1-4中给定的不锈钢设计规则是什么，它与碳钢对应物的主要区别是什么？



入口遮阳篷抗爆柱，纽约世贸中心七号大楼

截面类型和局部屈曲

EN 1993-1-4中的表述

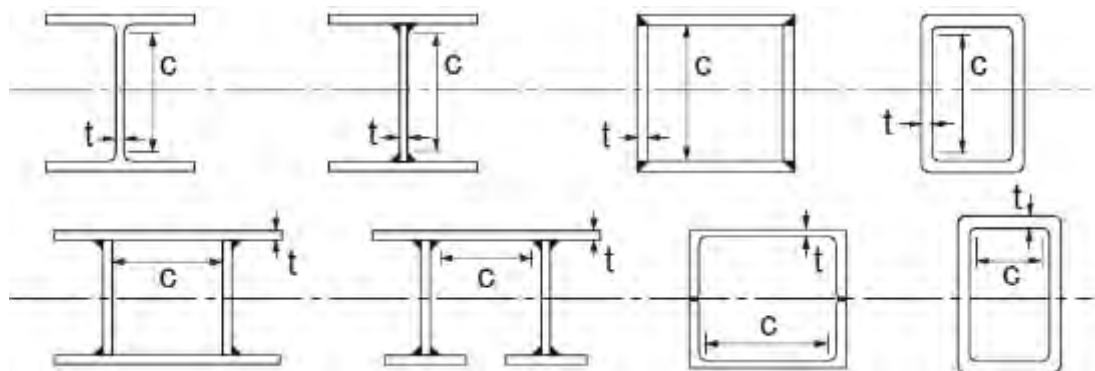
- 宽厚比限值比碳钢的更低
- 细长部件有效宽度的表达式稍有不同

但是…

EN 1993-1-4下一版对限值和有效宽度表达式会更大胆些。

截面分类及EN 1993-1-4局部屈曲表达式

■ 内部压缩部件

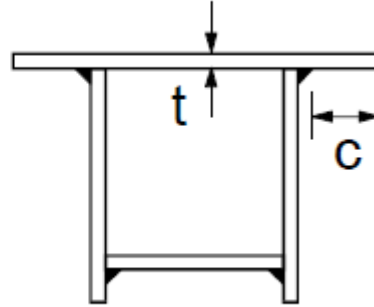
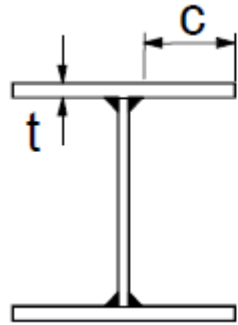
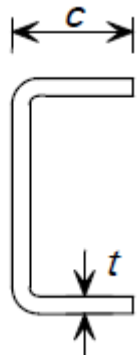


$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}}$$

| 类别 | EC3-1-1: 碳钢 | | EC3-1-4: 不锈钢 | | EC3-1-4: 未来修订 | |
|----|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 弯曲 | 压缩 | 弯曲 | 压缩 | 弯曲 | 压缩 |
| 1 | $c/t \leq 72\varepsilon$ | $c/t \leq 33\varepsilon$ | $c/t \leq 56\varepsilon$ | $c/t \leq 25,7\varepsilon$ | $c/t \leq 72\varepsilon$ | $c/t \leq 33\varepsilon$ |
| 2 | $c/t \leq 83\varepsilon$ | $c/t \leq 38\varepsilon$ | $c/t \leq 58,2\varepsilon$ | $c/t \leq 26,7\varepsilon$ | $c/t \leq 76\varepsilon$ | $c/t \leq 35\varepsilon$ |
| 3 | $c/t \leq 124\varepsilon$ | $c/t \leq 42\varepsilon$ | $c/t \leq 74,8\varepsilon$ | $c/t \leq 30,7\varepsilon$ | $c/t \leq 90\varepsilon$ | $c/t \leq 37\varepsilon$ |

截面分类及EN 1993-1-4局部屈曲表达式

■ 外压部件



$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}}$$

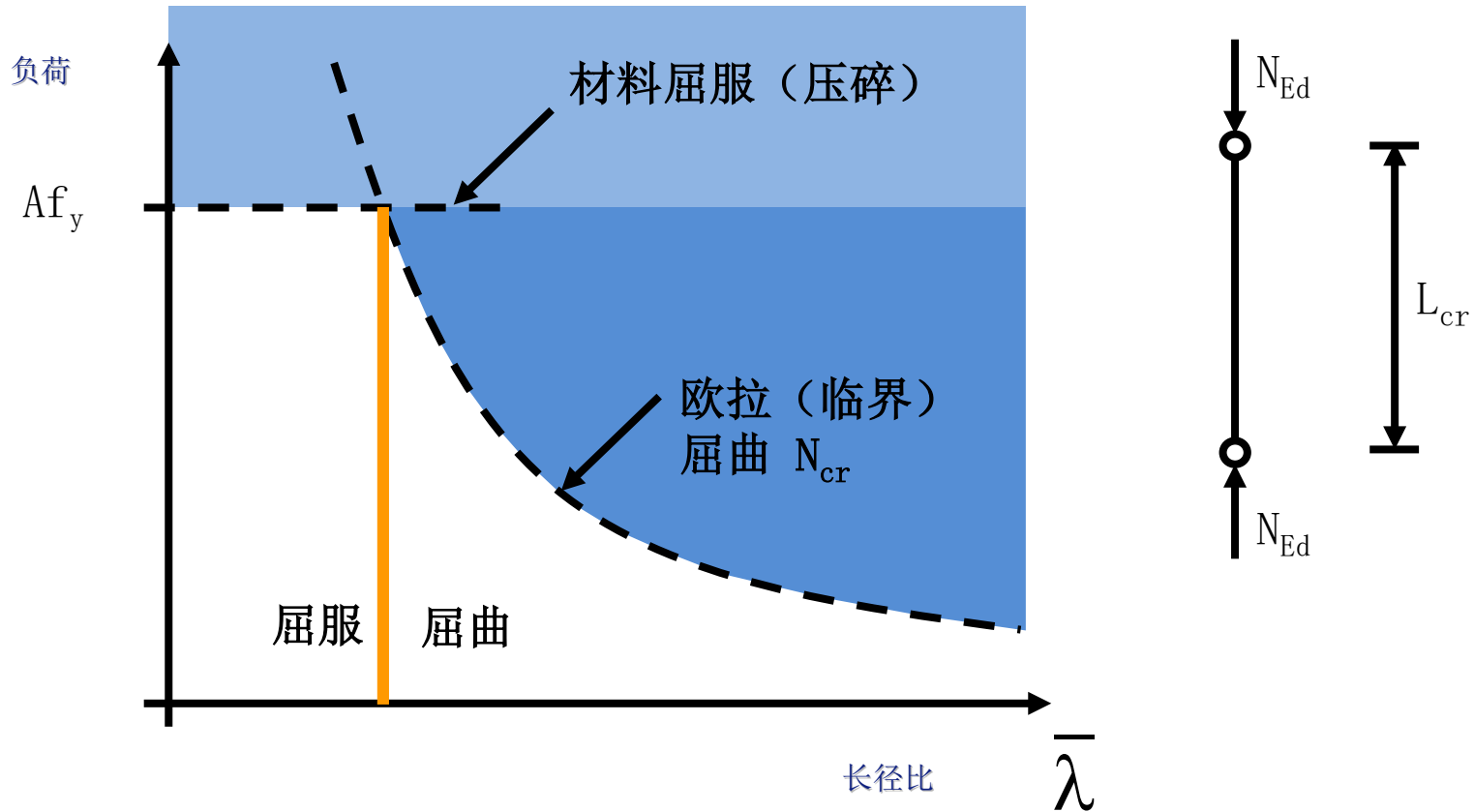
| | EC3-1-1: 碳钢 | EC3-1-4: 不锈钢 | | EC3-1-4: 未来修订 |
|----|--------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 类别 | 压缩 | 压缩 焊接 | 压缩 冷弯成型 | 压缩 |
| 1 | $c/t \leq 9\varepsilon$ | $c/t \leq 9\varepsilon$ | $c/t \leq 10\varepsilon$ | $c/t \leq 9\varepsilon$ |
| 2 | $c/t \leq 10\varepsilon$ | $c/t \leq 9,4\varepsilon$ | $c/t \leq 10,4\varepsilon$ | $c/t \leq 10\varepsilon$ |
| 3 | $c/t \leq 14\varepsilon$ | $c/t \leq 11\varepsilon$ | $c/t \leq 11,9\varepsilon$ | $c/t \leq 14\varepsilon$ |

柱与梁的设计

- 总体上与碳钢使用同样的方法
- 但是柱与LTB却有着不同的屈曲曲线
- 确保对该等级钢使用了正确的 f_y (EN 10088-4 和-5中给定的最低值)

“完美”的钢柱性能

- 两个范畴：屈服和屈曲：



柱的屈曲

- 压力屈抗 $N_{b,Rd}$:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

对1、2、3类横断面

折减系数

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

对第4类横断面（对称）

柱的屈曲

- 无量纲的长细比：

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} \quad \text{第1、2和3类横断面}$$

$$= \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{第四类横断面}$$

- 根据横断面的总体特点， N_{cr} 是相关屈曲模式的弹性屈曲临界负荷

柱的屈曲

- 折减系数:

$$\chi = \frac{1}{\phi + (\phi^2 - \bar{\lambda}^2)^{0,5}} \leq 1$$

$$\phi = 0,5 (1 + \alpha(\bar{\lambda} - \lambda_0) + \bar{\lambda}^2)$$

缺陷系数

坪长

柱的屈曲

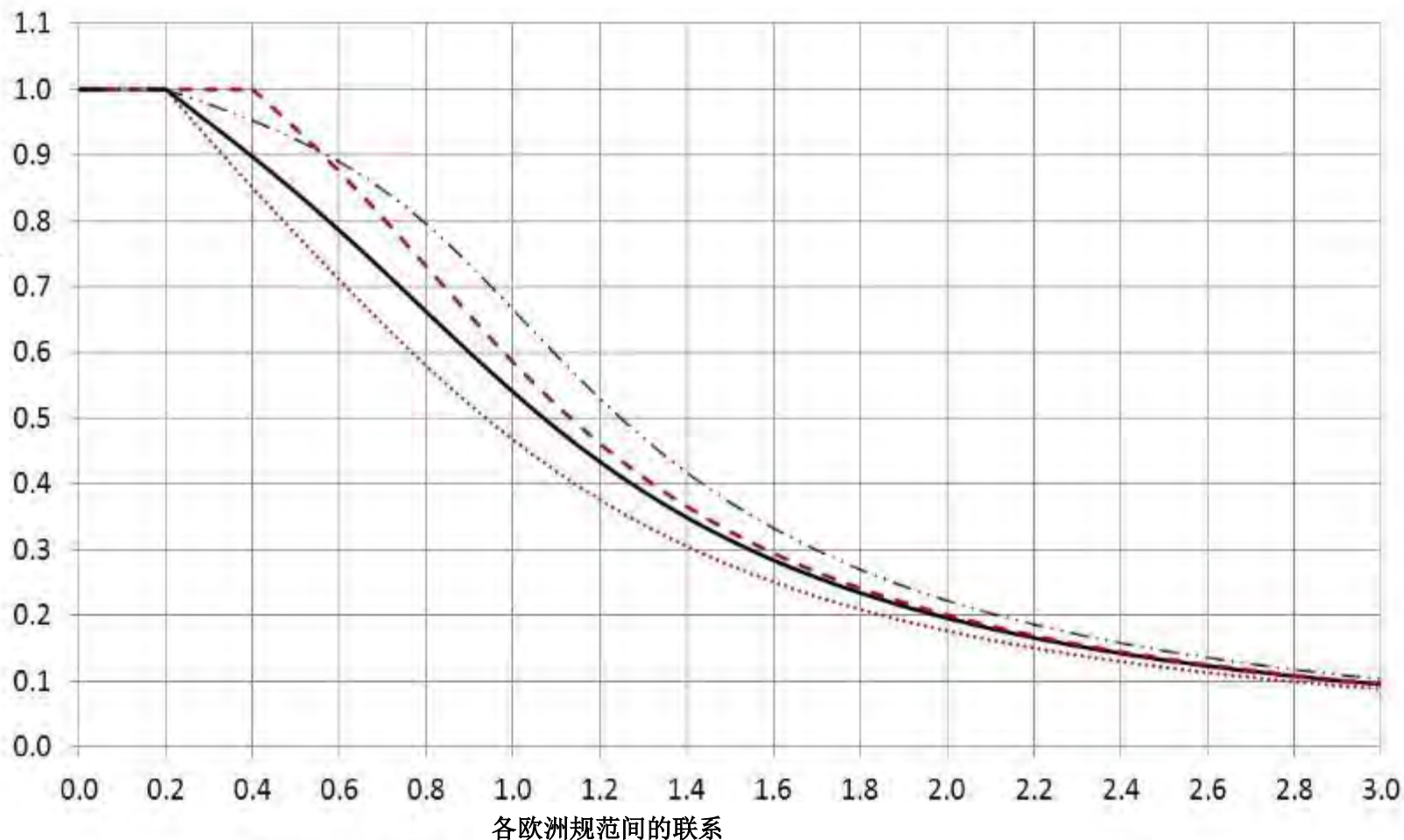
- 根据横断面、生产路径和轴线来选择屈曲曲线：

弯曲屈曲、扭转屈曲和扭转-弯曲屈曲的 α 值和 λ_0 值。

| 屈曲模式 | 横梁类型 | α | λ_0 |
|----------|--------------|----------|-------------|
| 弯曲 | 冷成形开放段 | 0,49 | 0,40 |
| | 中空截面 (焊接、无缝) | 0,49 | 0,40 |
| | 焊接开放段 (长轴) | 0,49 | 0,20 |
| | 焊接开放段 (短轴) | 0,76 | 0,20 |
| 扭转和扭转-弯曲 | 所有横梁 | 0,34 | 0,20 |

“节选” 自EN 1993-1-4

欧洲规范3 屈曲曲线

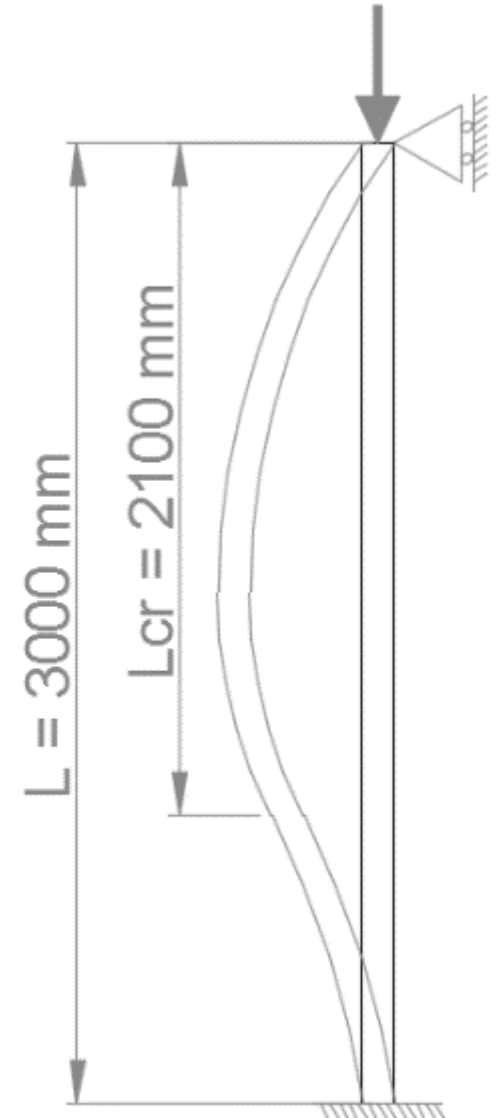
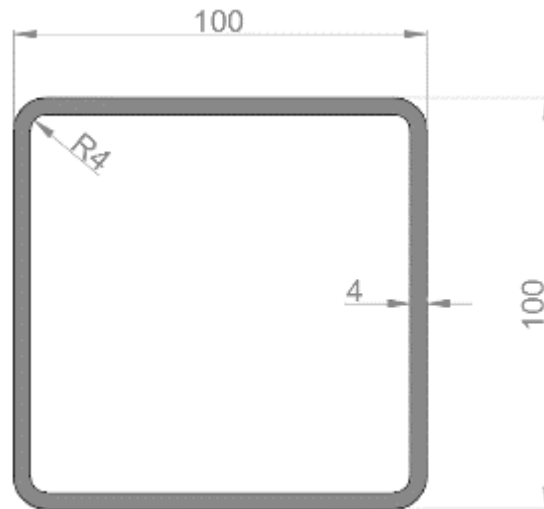


- 不锈钢：空心型材（焊接+无缝焊接），冷弯渠道
- 不锈钢：工字形焊接截面
- 碳钢：工字形焊接截面，冷弯空心型材，冷弯渠道
- .-.- 碳钢：热加工空心型材

欧洲规范3 屈曲示例

- 经过同心压缩的冷弯矩形空心型材

| | 碳钢 | 奥氏体不锈钢 |
|----------------------------|--------|-----------|
| 材料 | S235 | EN 1.4301 |
| f_y [N/mm ²] | 235 | 230 |
| E [N/mm ²] | 210000 | 200000 |



欧洲规范3 屈曲示例

EC 3-1-1: S235

- 分类

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

— 所有内部部件

Class 1

横断面 = 1类

EC 3-1-4: 奥氏体

- 分类

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}} = 0,99$$

— 所有内部部件

Class 1

横断面 = 1类

欧洲规范3 屈曲示例

| | EC 3-1-1: S235 | EC 3-1-4: 奥氏体 |
|----------------------------|----------------|---------------|
| A [mm ²] | 1495 | 1495 |
| f_y [N/mm ²] | 235 | 230 |
| γ_{M0} [-] | 1 | 1,1 |
| $N_{c,Rd}$ [kN] | 351 | 313 |
| L_{cr} [mm] | 2100 | 2100 |
| λ_1 [-] | 93,9 | 92,6 |
| $\bar{\lambda}$ [-] | 0,575 | 0,583 |
| α [-] | 0,49 | 0,49 |
| $\bar{\lambda}_0$ [-] | 0,2 | 0,4 |
| ϕ [-] | 0,76 | 0,71 |
| χ [-] | 0,80 | 0,89 |
| γ_{M1} [-] | 1 | 1,1 |
| $N_{b,Rd}$ [kN] | 281 | 277 |

欧洲规范3 屈曲示例

■ 比较

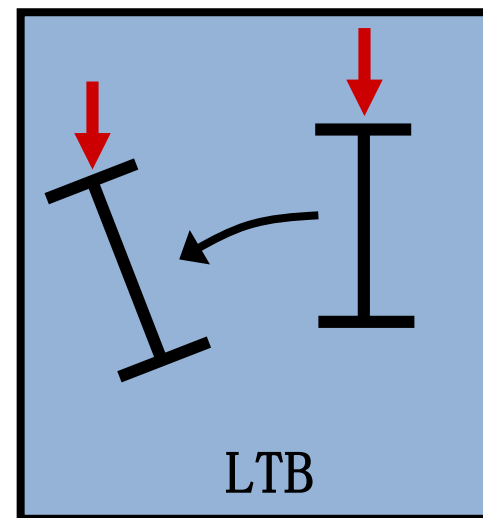
| | EC 3-1-1: S235 | EC 3-1-4: 奥氏体 |
|----------------------------|----------------|---------------|
| f_y [N/mm ²] | 235 | 230 |
| γ_{M0} [-] | 1, 0 | 1, 1 |
| γ_{M1} [-] | 1, 0 | 1, 1 |
| 横断面 $N_{c,Rd}$ [kN] | 351 | 313 |
| 稳定性 $N_{b,Rd}$ [kN] | 281 | 277 |

- 本例中，cs 和ss有着相似的屈抗
 ⇒ 应变硬化效果不明显
 EC3 1-4 没有正式解释应变硬化

弯扭屈曲

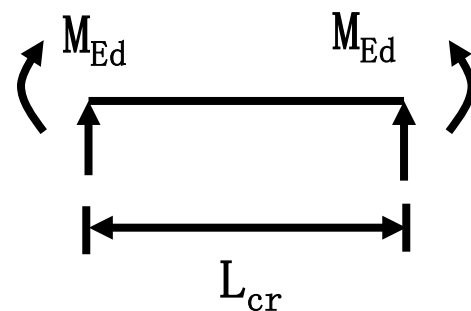
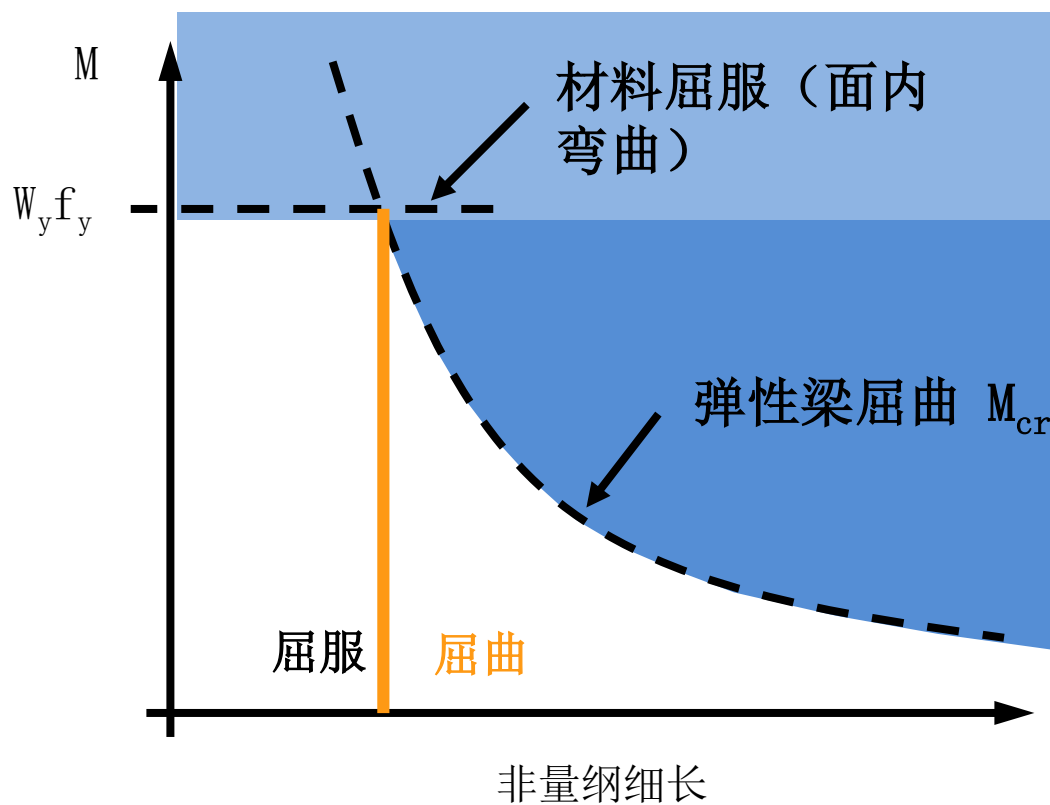
- 出现下列情况时就可以不考虑：

- 短轴弯曲
- CHS, SHS, 圆形或方形杆
- 完全侧向越数量
- $\bar{\lambda}_{LT} < 0.4$



横向扭转屈曲

- 横向扭转屈曲的设计方法类似于钢柱的屈曲处理



$$\bar{\lambda}_{LT}$$

横向扭转屈曲

- 横向自由梁（或梁段）的设计抗弯阻力 $M_{b,Rd}$ 应为：

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

LTB的折减系数

横向扭转屈曲

- 下面为横向扭转屈曲曲线：

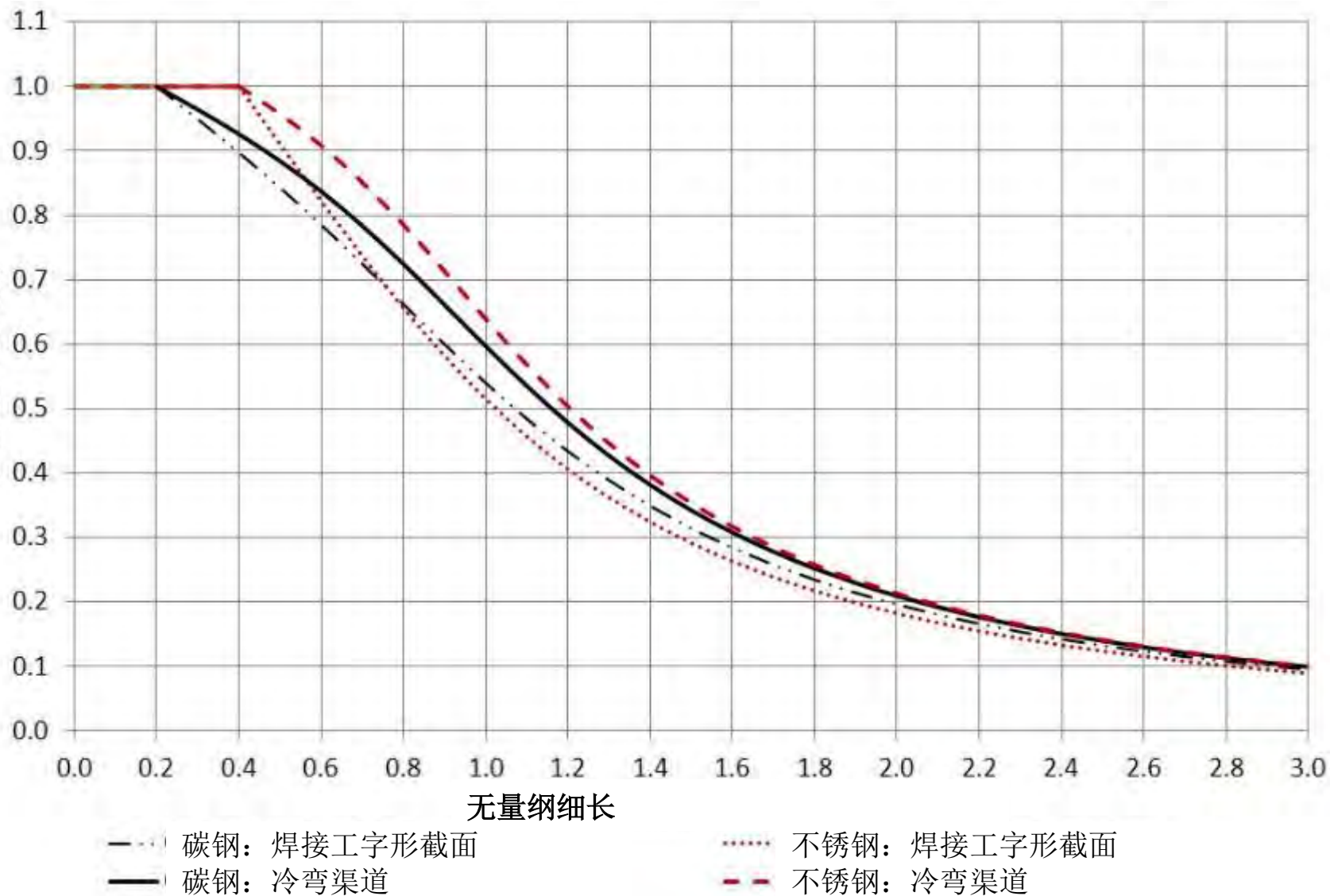
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{but } \chi_{LT} \leq 1.0$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.4) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

缺陷系数

坪长

欧洲规范3 横向扭转屈曲曲线



无量纲细长

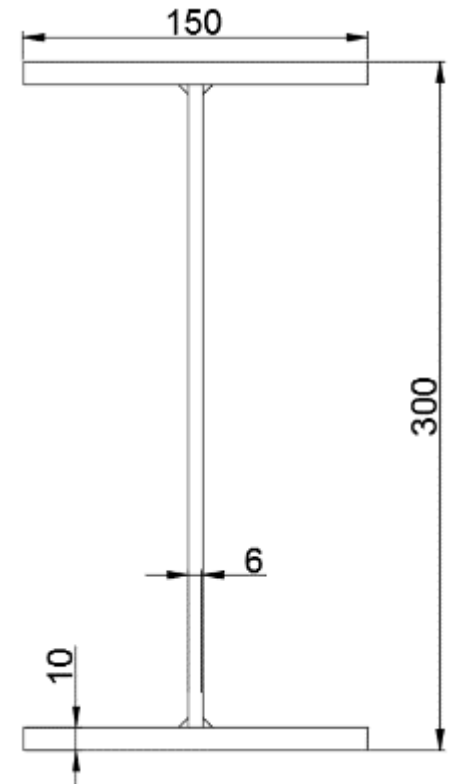
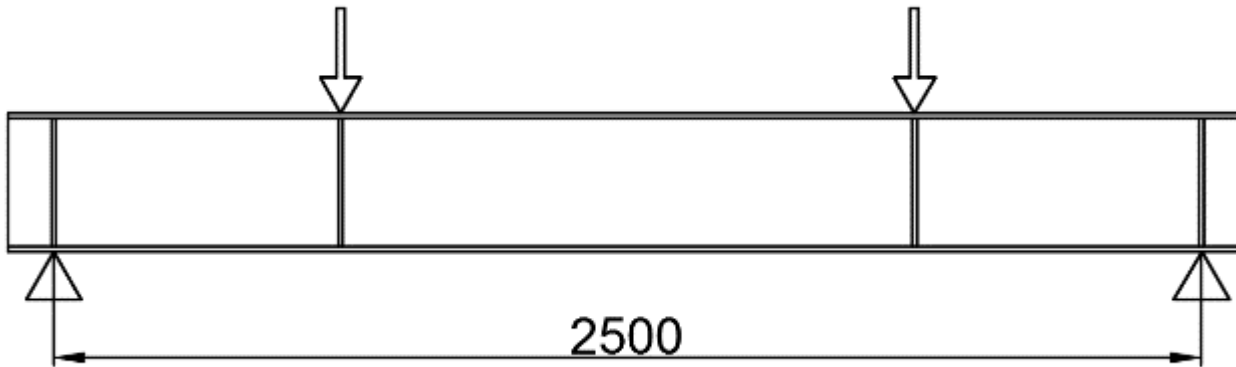
- 横向扭转屈曲细长比：

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

- 压缩屈曲曲线（不包括 a_0 曲线）
- W_y 的值取决于梁段的类别
- M_{cr} 是弹性临界横向扭转屈曲矢量

欧洲规范3 横向扭转屈曲范例

- 受到4点弯曲的工字梁



| | 碳钢 | 双向不锈钢 |
|----------------------------|--------|-----------|
| 材料 | S355 | EN 1.4162 |
| f_y [N/mm ²] | 355 | 450 |
| E [N/mm ²] | 210000 | 200000 |

欧洲规范3 横向扭转屈曲示例

EC 3-1-1: S355

- 分类

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

- 法兰

类别1

- Web

类别1

横断面 = 类别1

EC 3-1-4: 双相钢

- 分类

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}} = 0,71$$

- 法兰

类别3

- Web

类别3

横断面 = 类别3

欧洲规范3 横向扭转屈曲示例

EC 3-1-1: S355

- 极限弯矩
 - 类别1

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 196 \text{ kNm}$$

EC 3-1-4: 双相钢

- 极限弯矩
 - 类别3

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 202 \text{ kNm}$$

修订EC 3-1-4:

- 分类极限: 接近碳钢1
 - 横断面 = 类别2

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 226 \text{ kNm}$$

欧洲规范3 横向扭转屈曲示例

- 弹性临界屈曲力矩:

| | EC 3-1-1: S355 | EC 3-1-4: 双相钢 |
|--------------------------|---------------------|---------------------|
| C_1 [-] | 1,04 | 1,04 |
| C_2 [-] | 0,42 | 0,42 |
| k_z [-] | 1 | 1 |
| k_w [-] | 1 | 1 |
| z_g [mm] | 160 | 160 |
| I_z [mm ⁴] | $5,6 \cdot 10^6$ | $5,6 \cdot 10^6$ |
| I_T [mm ⁴] | $1,2 \cdot 10^5$ | $1,2 \cdot 10^5$ |
| I_w [mm ⁶] | $1,2 \cdot 10^{11}$ | $1,2 \cdot 10^{11}$ |
| E [MPa] | 210000 | 200000 |
| G [MPa] | 81000 | 77000 |
| M_{cr} [kNm] | 215 | 205 |

欧洲规范3 横向扭转屈曲示例

■ 横向扭转屈抗

| | EC 3-1-1: S355 | EC 3-1-4: 双相钢 | EC 3-1-4: 未来修订 |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| W_y [mm ³] | 5, 5. 10 ⁵ | 4, 9. 10 ⁵ | 5, 5. 10 ⁵ |
| f_y [N/mm ²] | 355 | 450 | 450 |
| M_{cr} [kNm] | 215 | 205 | 205 |
| $\bar{\lambda}_{LT}$ [-] | 0, 96 | 1, 04 | 1, 10 |
| α_{LT} [-] | 0, 49 | 0, 76 | 0, 76 |
| $\bar{\lambda}_{LT,0}$ [-] | 0, 2 | 0, 4 | 0, 4 |
| ϕ_{LT} [-] | 1, 14 | 1, 29 | 1, 37 |
| χ_{LT} [-] | 0, 57 | 0, 49 | 0, 46 |
| γ_{M1} [-] | 1, 0 | 1, 1 | 1, 1 |
| $M_{b, Rd}$ [kNm] | 111 | 99 | 103 |

欧洲规范3 横向扭转屈曲示例

■ 比较

| | EC 3-1-1: S355 | EC 3-1-4: 双相钢 | EC 3-1-4: 未来修订 |
|----------------------------|----------------|---------------|----------------|
| f_y [N/mm ²] | 355 | 450 | 450 |
| γ_{M0} [-] | 1, 0 | 1, 1 | 1, 1 |
| γ_{M1} [-] | 1, 0 | 1, 1 | 1, 1 |
| 横断面 $M_{c, Rd}$ | 196 | 202 | 226 |
| 稳定性 $M_{b, Rd}$ | 111 | 99 | 103 |

- 在本例中，cs 和ss表现出相似的横向扭转屈抗
- 但是：目前的测试及文献表明，EC3-1-4的结果需要调整，以便更接近现实
 - ⇒ 非常保守
 - （在有限元方法的示例中有所描述）

第4部分

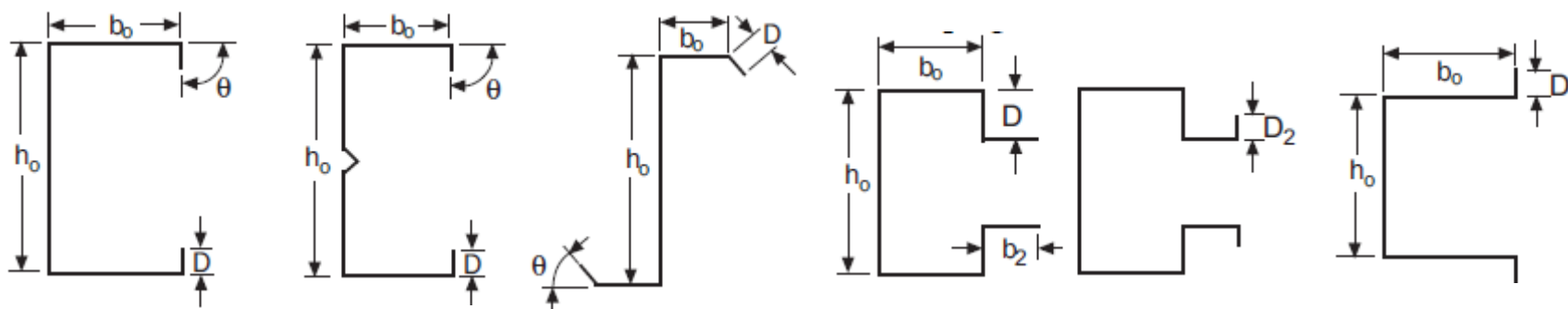
其他方法

其他方法

- 直接强度法（DSM）
 - 美国规范的一部分
 - 针对薄壁型材
- 连续强度法（CSM）
 - 包括应变硬化的好处和效应
- 有限元方法
 - 更加细化
 - 可以包括模型所有的具体情况

直接强度法

- 在AISI 附件1中
- 非常简单直接的方法
- 用于薄壁截面：



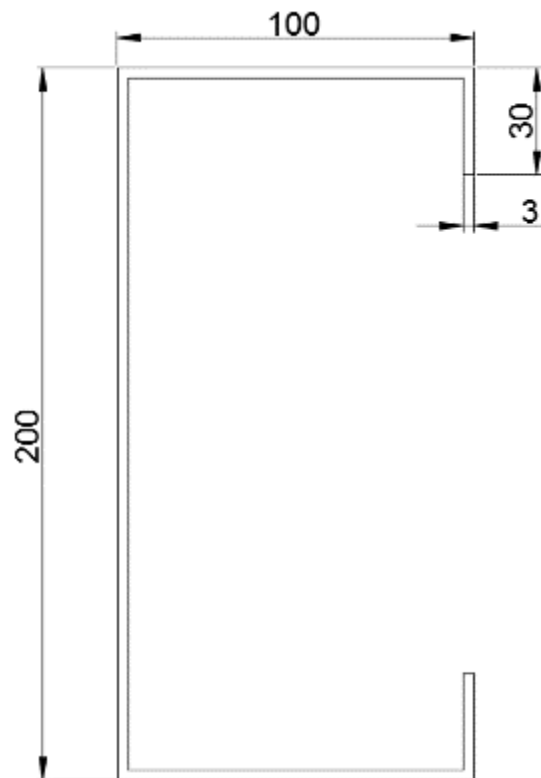
- 需要“弹性屈曲分析”
 - 文献中提供了理论方法
 - 有线条法（例如 CUFSM）
- 更多资料请参考：<http://www.ce.jhu.edu/bschafer/>

直接强度法——案例

■ 受压卷边槽钢柱

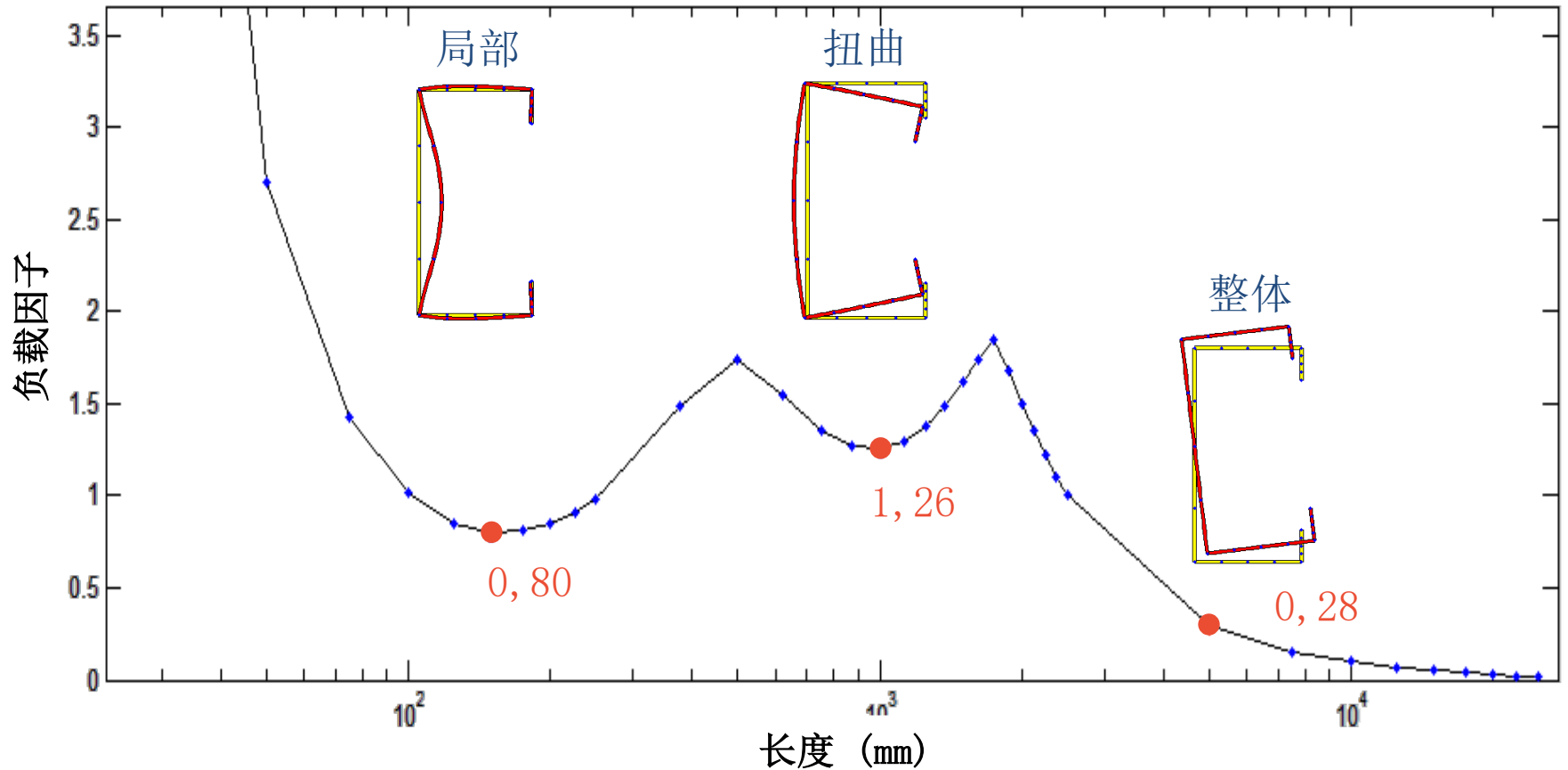
- 简支柱
- 柱长：5米

| 铁素体不锈钢 | |
|----------------------------|-----------|
| 材料 | EN 1.4003 |
| f_y [N/mm ²] | 280 |
| f_u [N/mm ²] | 450 |
| E [N/mm ²] | 220000 |



直接强度法 - 示例

- 第一步：‘弹性屈曲分析’



直接强度法——示例

- 分析的结果 = “弹性临界屈曲负荷”
 - 在案例中，弹性屈曲分析的负载因子等于：
 - 局部屈曲：0,80
 - 扭曲屈曲：1,26
 - 整体屈曲：0,28

- 第二步：额定强度的计算
 - 局部屈曲 \Rightarrow 一个方程
 - 扭曲屈曲 \Rightarrow 一个方程
 - 整体屈曲 \Rightarrow 一个方程

直接强度法——示例

- 额定整体屈曲强度 P_{ne}

$$- \lambda_c = \sqrt{P_y / P_{cre}} = 1,88$$

$$- P_y = A f_y = 376 \text{ kN}$$

$$- P_{cre} = 0,28 * 376 = 107 \text{ kN}$$

$$\text{当 } \lambda_c \leq 1,5$$

$$P_{ne} = (0,658^{\lambda_c^2}) P_y$$

$$\text{当 } \lambda_c > 1,5$$

$$P_{ne} = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right) P_y$$

- $P_{ne} = 93,81 \text{ kN}$

直接强度法——示例

- 额定局部屈曲强度 P_{nl}

$$- \lambda_l = \sqrt{P_{ne}/P_{crl}} = 0,56$$

$$- P_{crl} = 0,80 * 376 = 302 \text{ kN}$$

$$\text{当 } \lambda_l \leq 0,776$$

$$P_{nl} = P_{ne}$$

$$\text{当 } \lambda_l > 0,776$$

$$P_{nl} = \left[1 - 0,15 \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0,4} \right] \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0,4} P_{ne}$$

- $P_{nl} = 93,81 \text{ kN}$

直接强度法——示例

■ 额定扭转屈曲强度 P_{nd}

$$- \lambda_d = \sqrt{P_y / P_{crd}} = 0,89$$

$$- P_{crd} = 1,26 * 376 = 473 \text{ kN}$$

$$\text{当 } \lambda_d \leq 0,561$$

$$P_{nd} = P_y$$

$$\text{当 } \lambda_d > 0,561$$

$$P_{nd} = \left[1 - 0,25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} \right] \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} P_y$$

■ $P_{nd} = 344,56 \text{ kN}$

直接强度法——示例

- 第三步：轴向阻力“正”是三个额定强度的最小值

- 局部： $P_{n1} = 93,81 \text{ kN}$
- 扭曲： $P_{nd} = 344,56 \text{ kN}$
- 整体： $P_{ne} = 93,81 \text{ kN}$

$$\Rightarrow P_n = 93,81 \text{ kN}$$

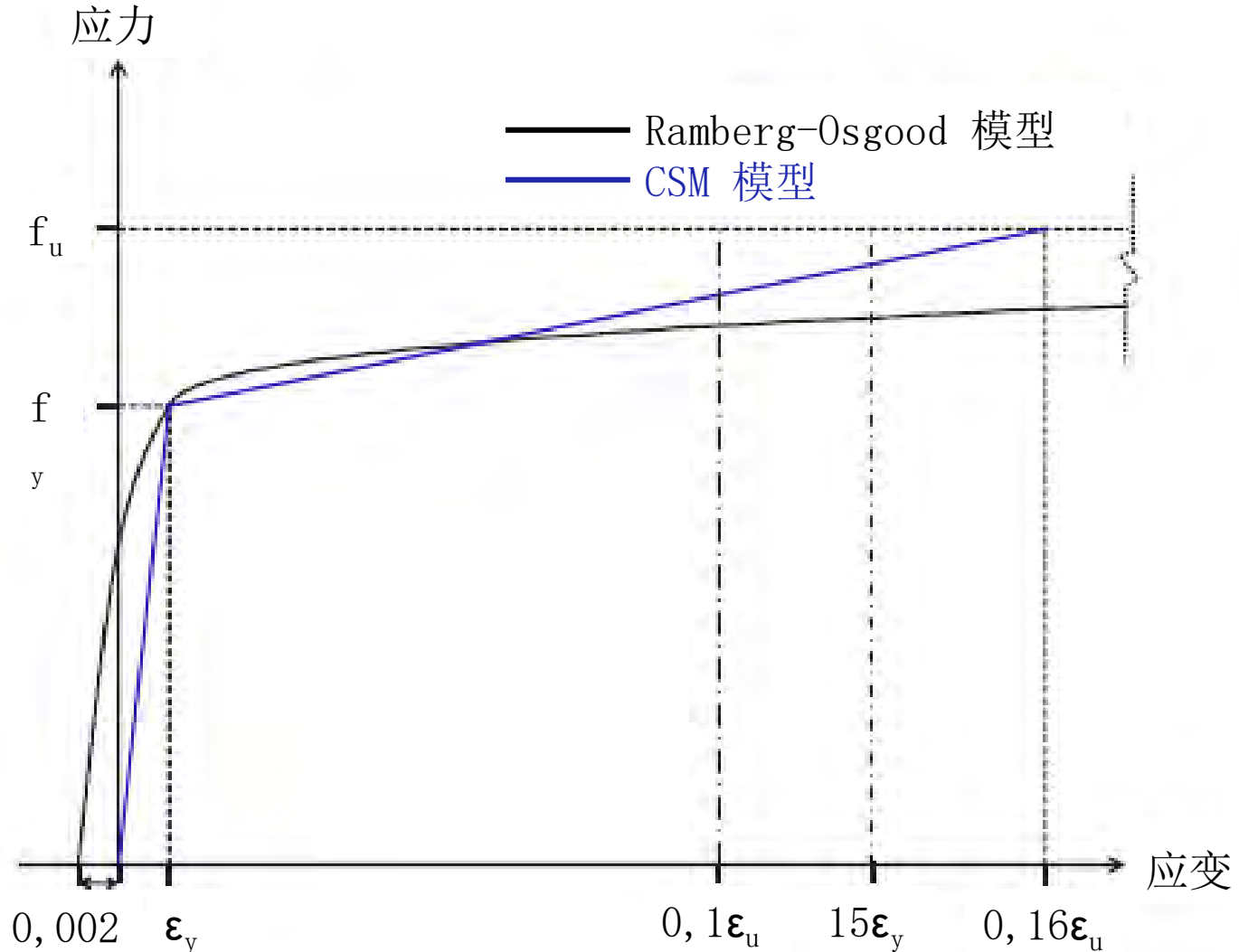
连续强度法

- 不锈钢材料的特点：
 - 非线性材料模型
 - 高应变硬化
 - 传统的设计方法无法考虑横断面的全部潜力

连续强度法使用了包括应变硬化的材料模型

连续强度法

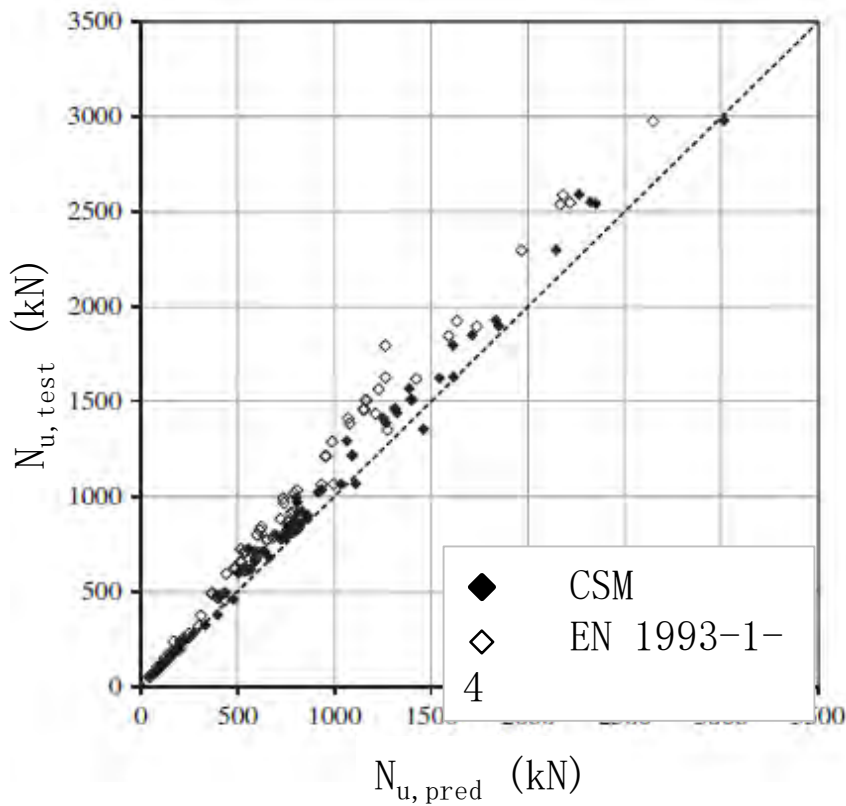
- CSM中考虑的材料模型



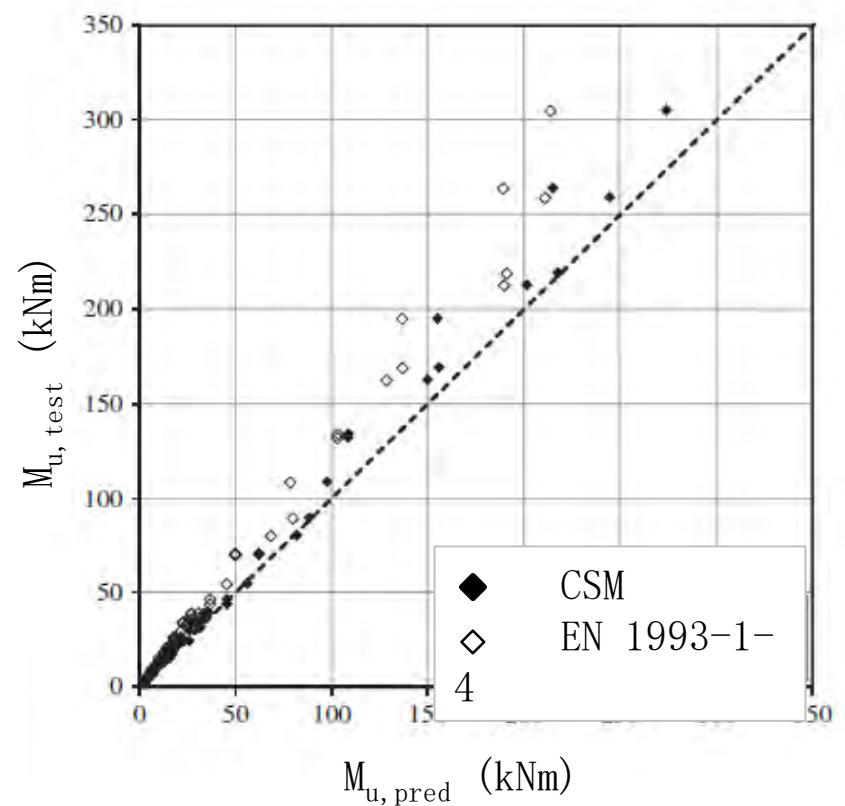
连续强度法

- 比较EC3 和CSM预测和测试结果：

压缩



弯曲

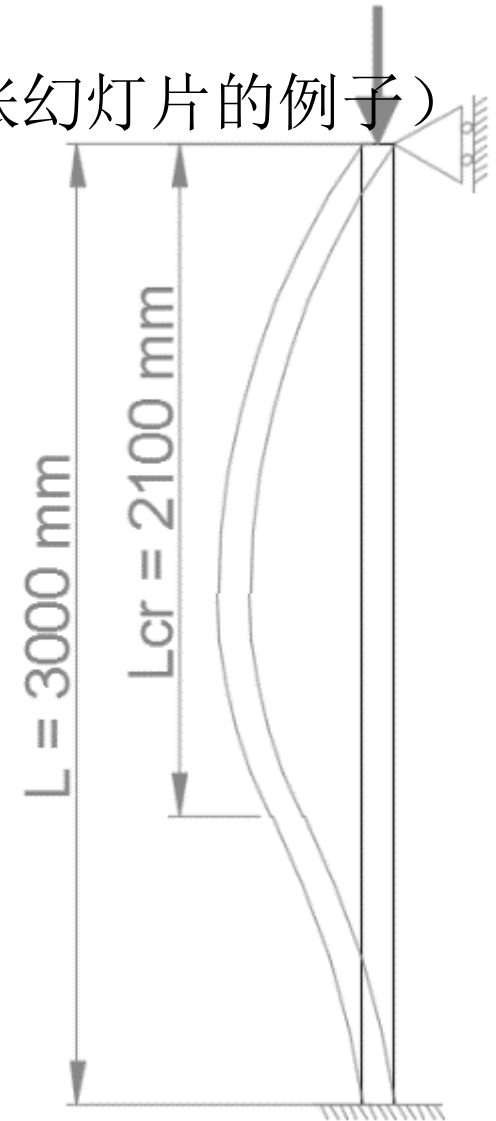
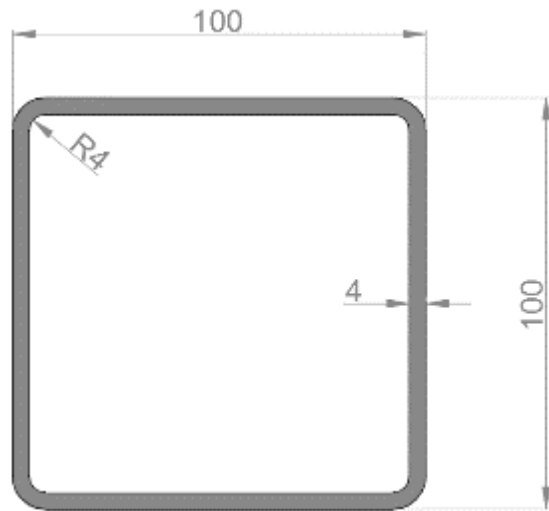


CSM能够精确捕捉横断面的行为

CSM：弯曲扭曲示例

- 受同心压缩的冷弯矩形空心截面（第51张幻灯片的例子）

| 奥氏体不锈钢 | |
|----------------------------|-----------|
| 材料 | EN 1.4301 |
| f_y [N/mm ²] | 230 |
| E [N/mm ²] | 200000 |



CSM: 弯曲屈曲示例

$$f_y = 230 \text{ N/mm}^2$$

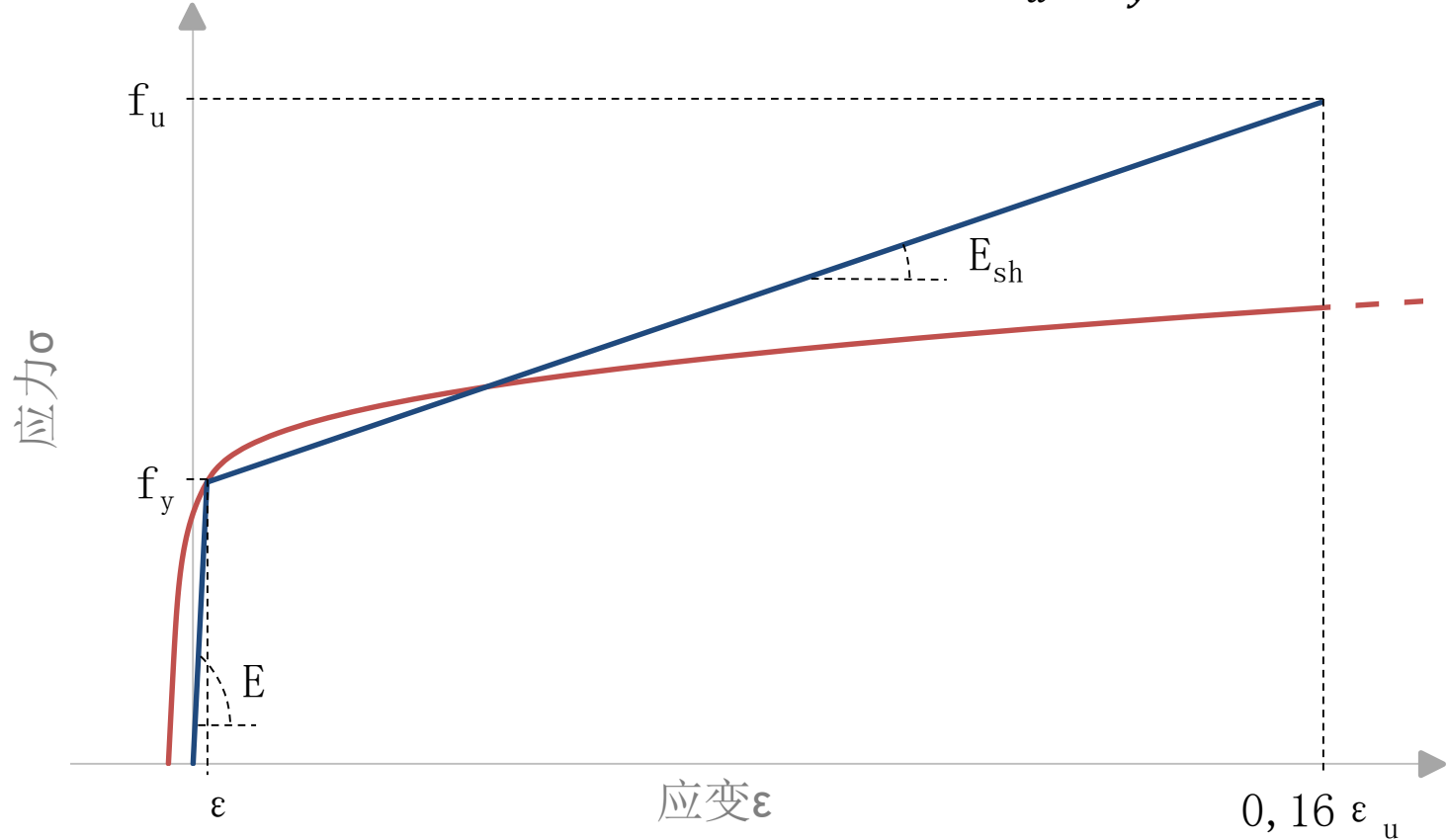
$$f_u = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$0,16\varepsilon_u = 0,16(1 - f_y/f_u) = 0,0919$$

$$\varepsilon_y = f_y/E = 0,0012$$

$$E_{sh} = \frac{f_u - f_y}{0,16\varepsilon_u - \varepsilon_y} = 3418 \text{ N/mm}^2$$



CSM: 弯曲屈曲示例

$$f_y = 230 \text{ N/mm}^2$$

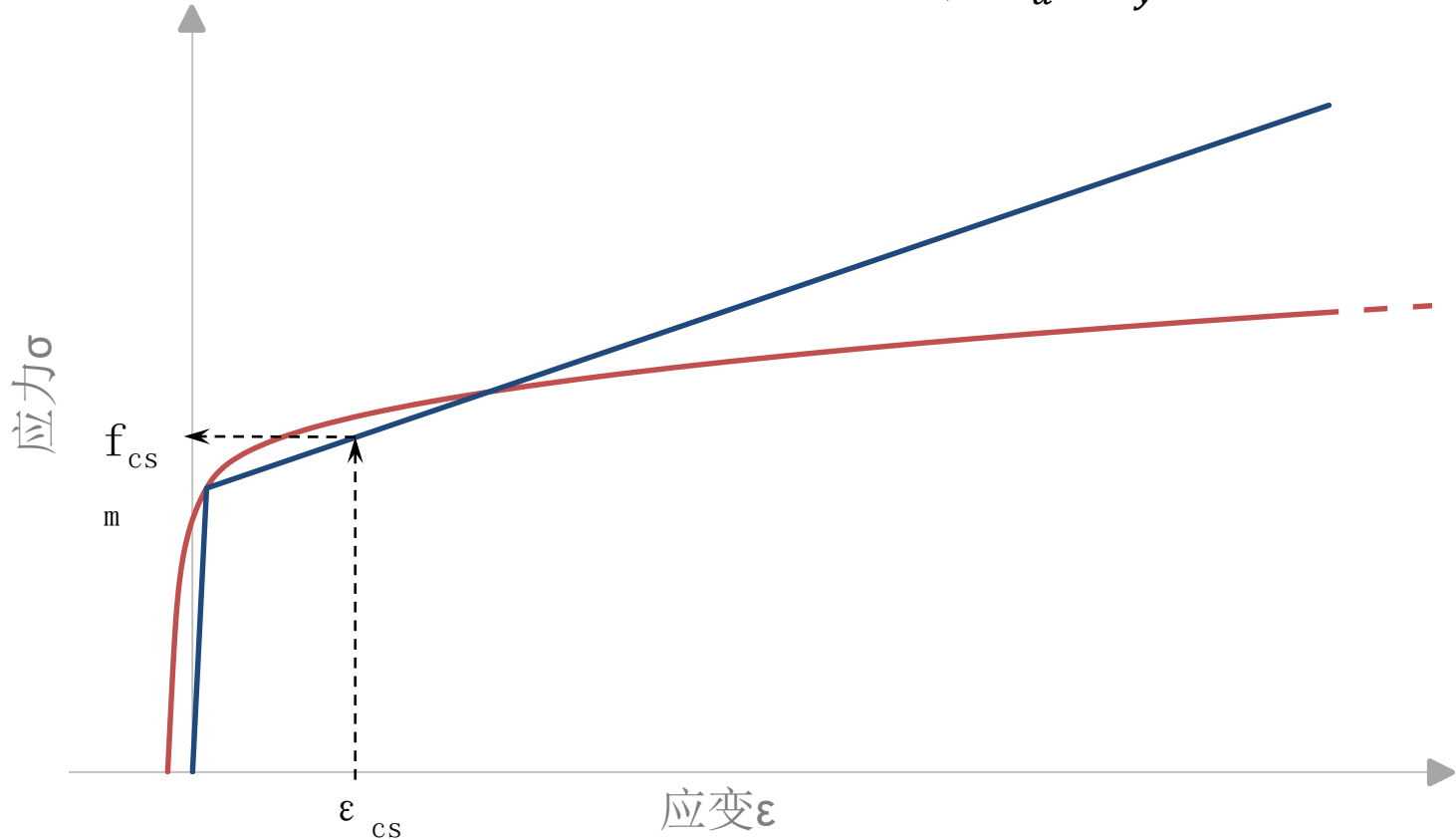
$$E = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_y = f_y / E = 0,0012$$

$$f_u = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$0,16\varepsilon_u = 0,16(1 - f_y/f_u) = 0,0919$$

$$E_{sh} = \frac{f_u - f_y}{0,16\varepsilon_u - \varepsilon_y} = 3418 \text{ N/mm}^2$$



CSM: 弯曲屈曲

- $$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,cs}}} = 0,60$$

– $\sigma_{cr,cs}$ = 允许元互相作用的全横断面的弹性屈曲应力

- $$\frac{\varepsilon_{csm}}{\varepsilon_y} = \frac{0,25}{\bar{\lambda}_p^{3,6}} = 5,27$$

- $$f_{csm} = f_y + E_{sh} \varepsilon_y \left(\frac{\varepsilon_{csm}}{\varepsilon_y} - 1 \right) = 247 \text{ N/mm}^2$$

- $$N_{c,Rd} = \frac{A f_{csm}}{\gamma_{M0}} = 335 \text{ kN}$$

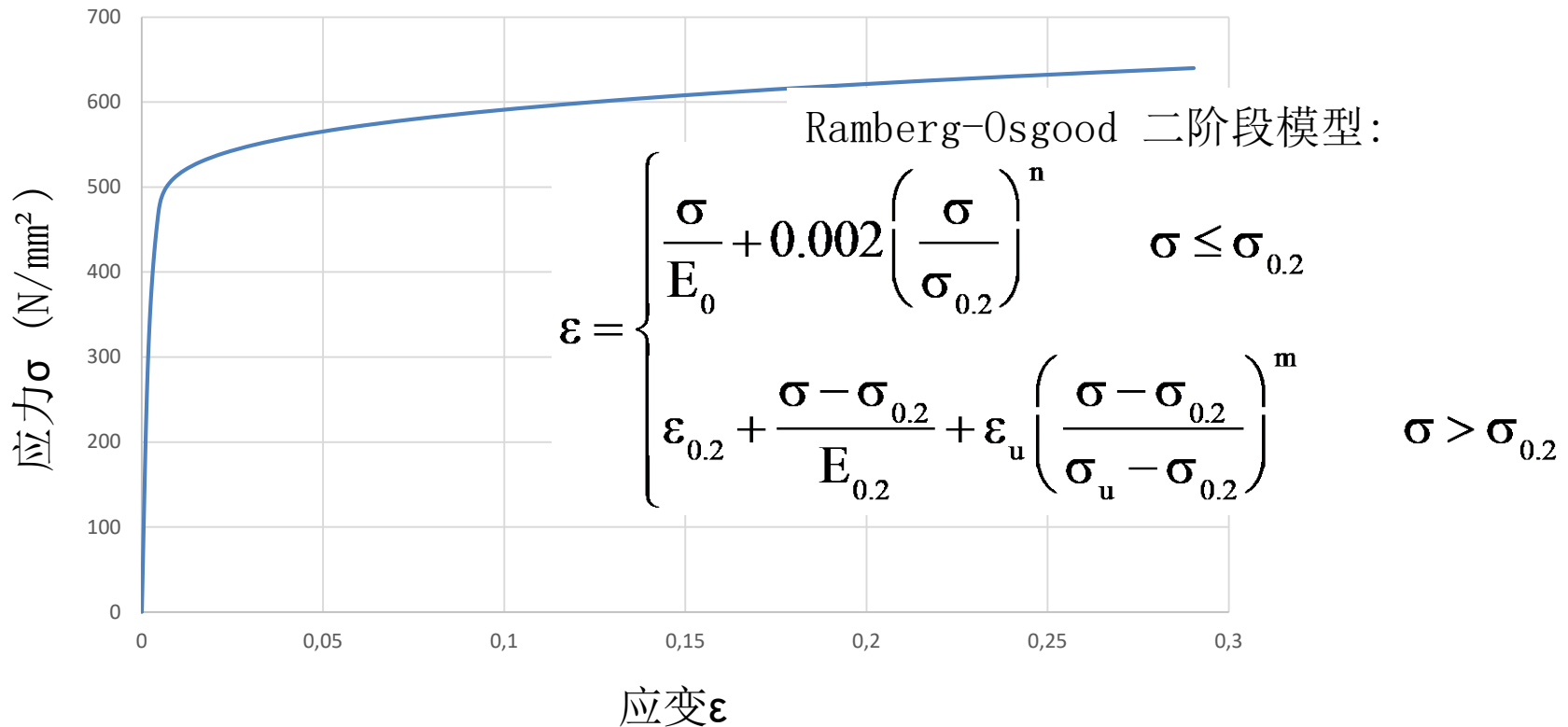
CSM：弯曲屈曲示例

- $$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_{csm}}{N_{cr}}} = 0,60$$
- $$N_{b,Rd} = \chi \frac{Af_{csm}}{\gamma_{M1}} = 294 \text{ kN}$$

| | EC 3-1-1: S235 | CSM: 奥氏体 | EC 3-1-4: 奥氏体 |
|----------------------------|----------------|----------|---------------|
| f_y [N/mm ²] | 235 | 230 | 230 |
| γ_{M0} [-] | 1,0 | 1,1 | 1,1 |
| γ_{M1} [-] | 1,0 | 1,1 | 1,1 |
| 横断面 $N_{c,Rd}$ [kN] | 351 | 335 | 313 |
| 稳定性 $N_{b,Rd}$ [kN] | 281 | 294 | 277 |

有限元模型

- 材料的应力-应变曲线可以被精确建模（例如通过使用 Ramberg-Osgood 材料规律或“真正”的拉伸测试结果）



有限元模型

- 下面的表达式给出了非线性参数（根据拉斯穆森的修订）：

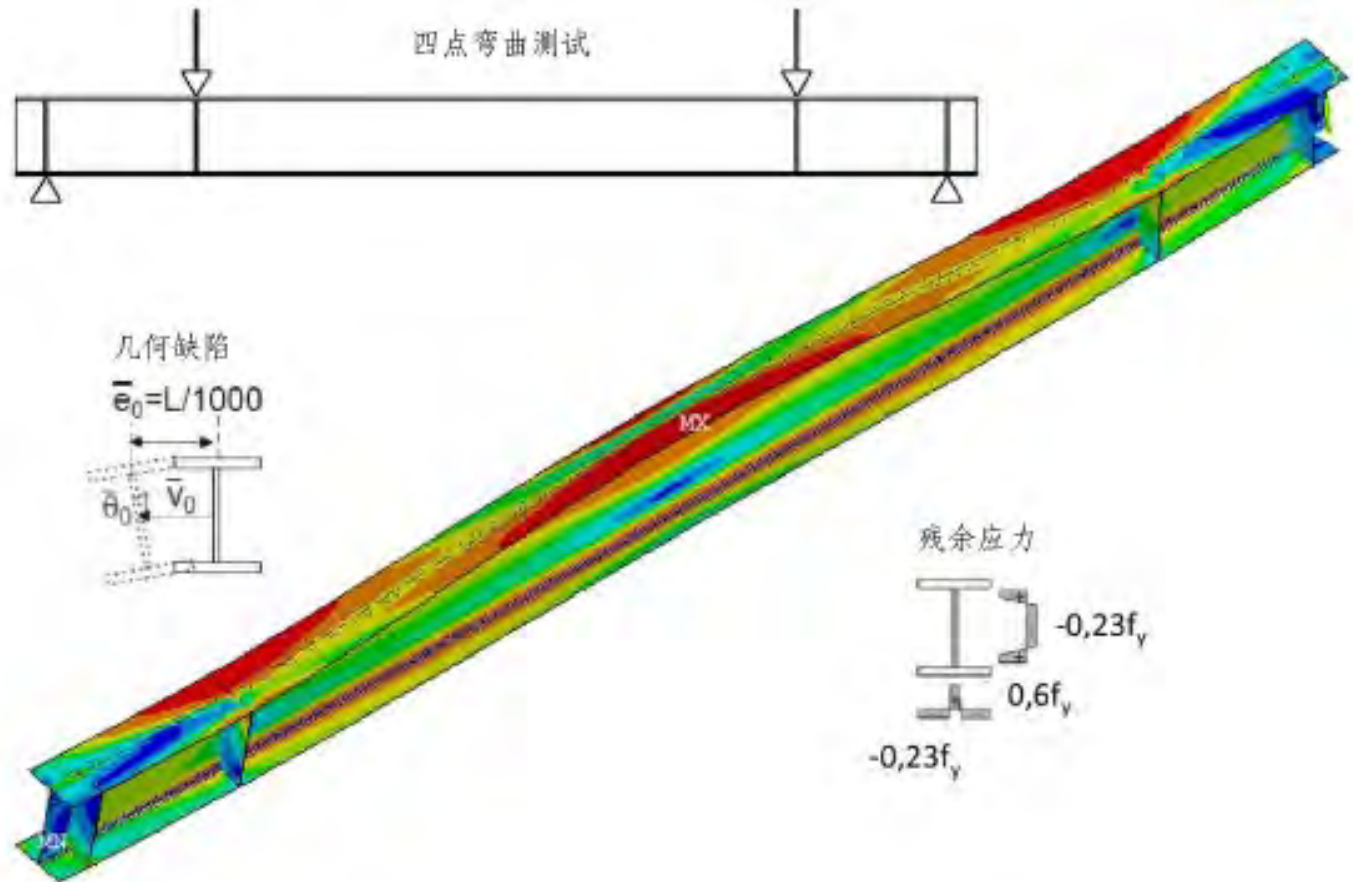
$$n = \frac{\ln(20)}{\ln\left(\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_{0.01}}\right)} \quad m = 1 + 3.5 \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u} \quad E_{0.2} = \frac{E_0}{1 + 0.002n \frac{E_0}{\sigma_{0.2}}}$$

$$\varepsilon_u = 1 - \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u}$$

$$\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u} = \begin{cases} \frac{0.2 + 185 \frac{\sigma_{0.2}}{E_0}}{1 - 0.0375(n-5)} & \text{奥体钢和双相钢} \\ \frac{0.2 + 185 \frac{\sigma_{0.2}}{E_0}}{1 - 0.0375(n-5)} & \text{所有不锈钢合金} \end{cases}$$

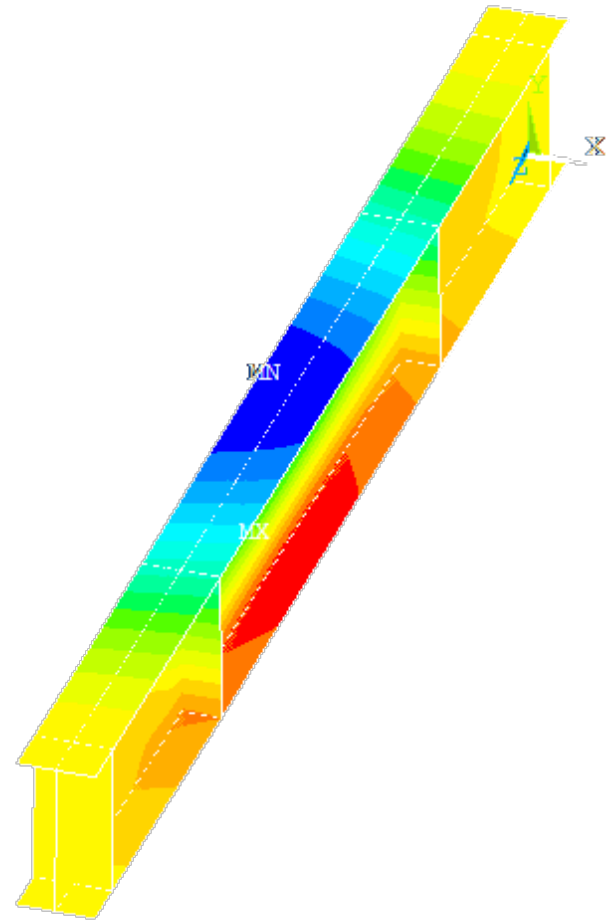
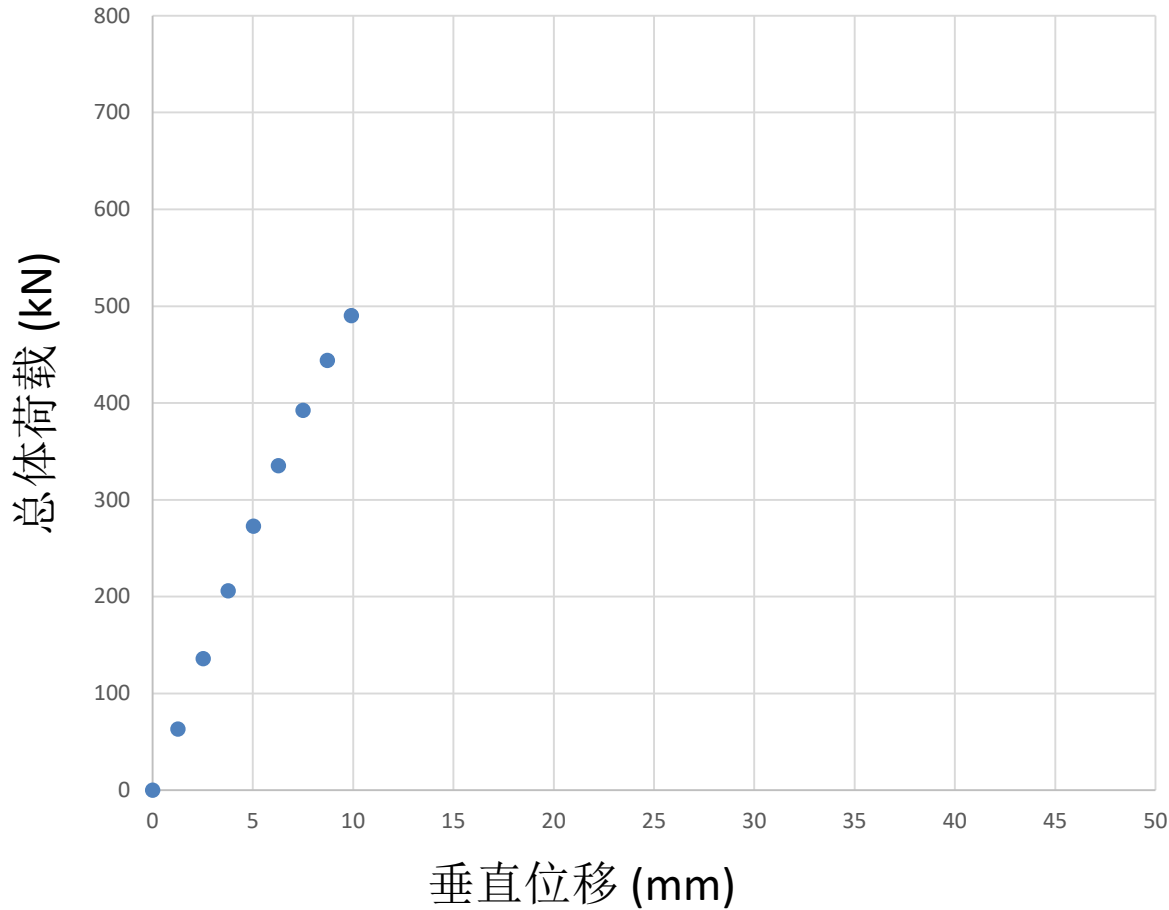
有限元模型

- 弯曲的工字梁受到横向扭曲屈曲： 所有缺陷都可以建模
- : 横向扭曲屈曲



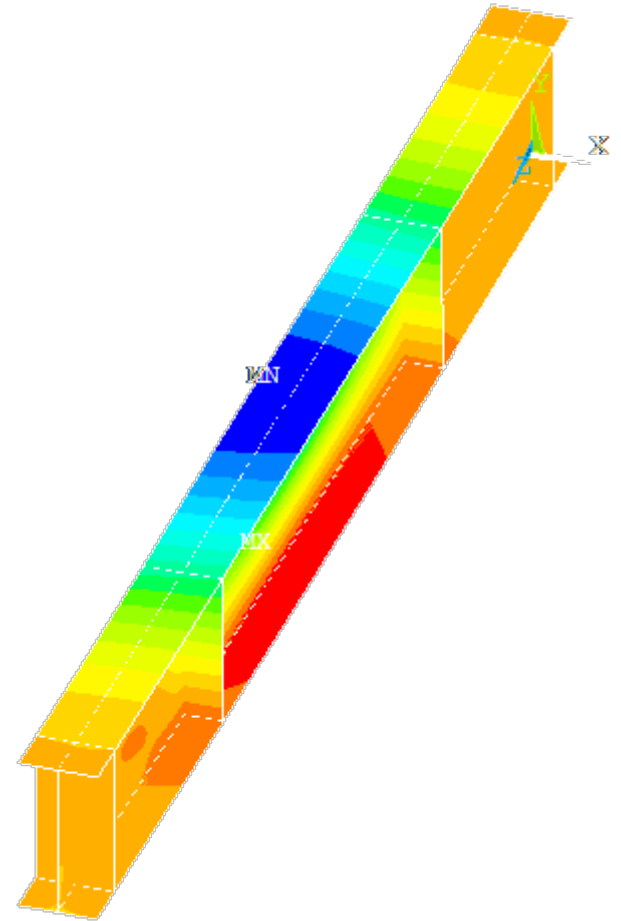
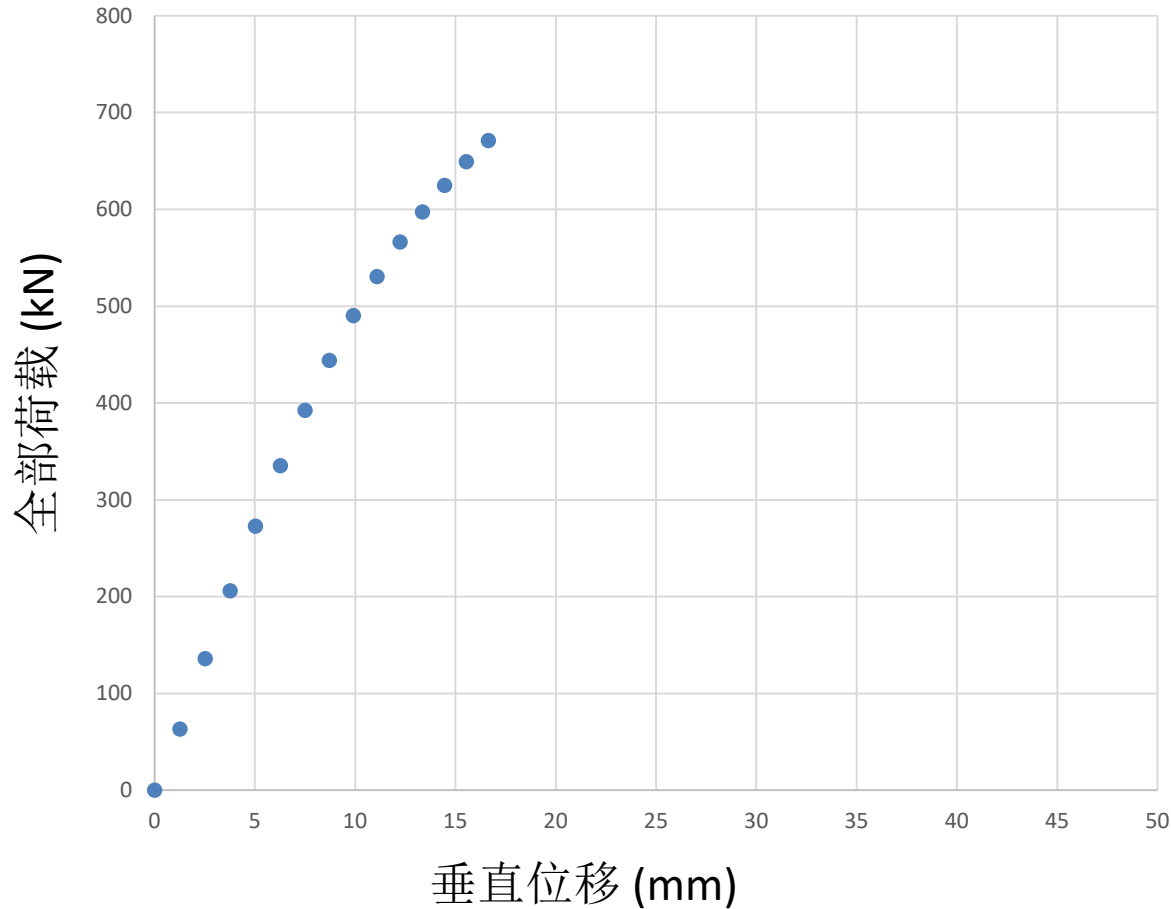
有限元模型

- 荷载-挠度曲线的计算
 - 结果：弹性行为和初始屈服



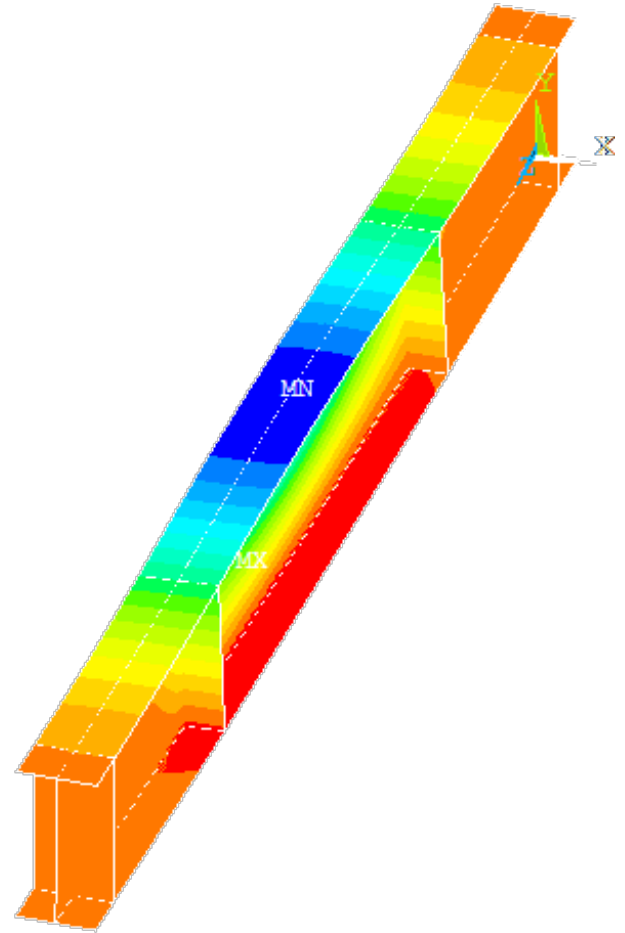
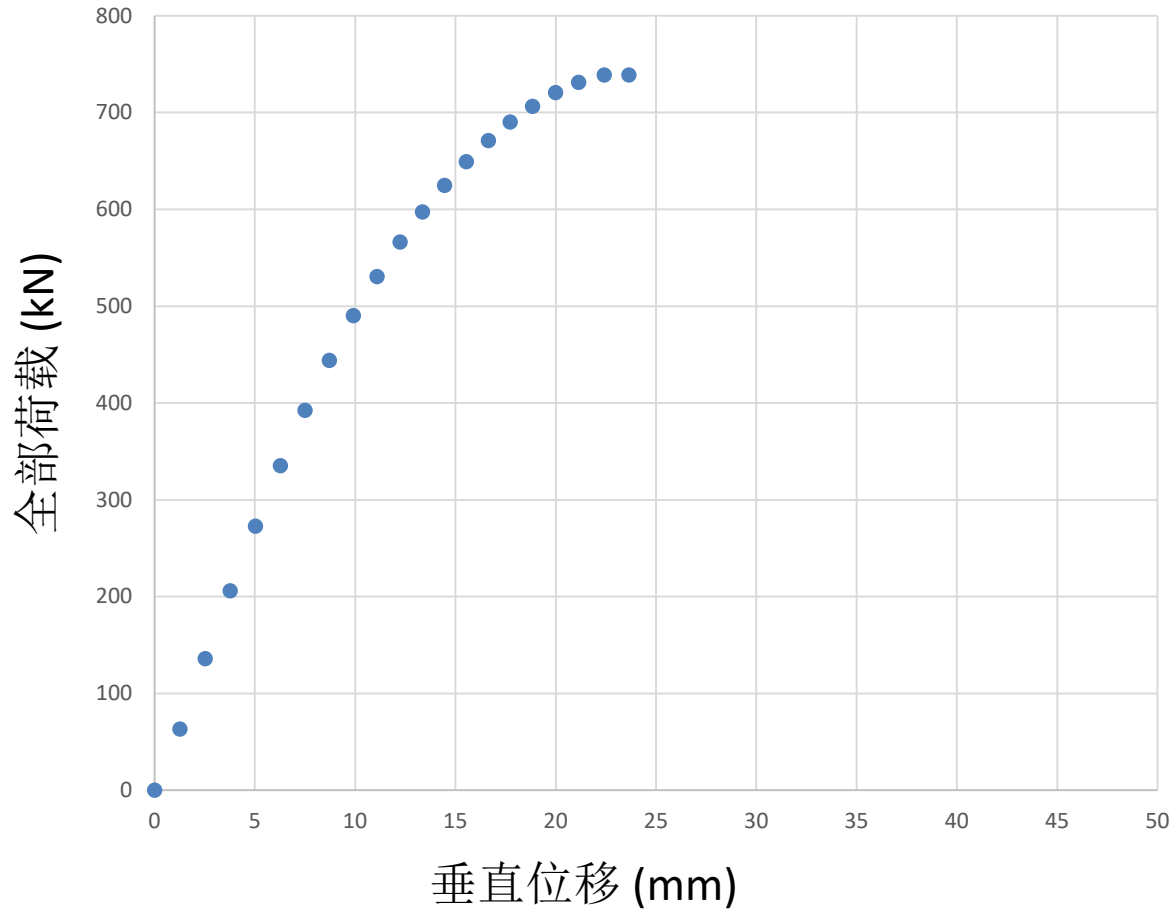
有限元模型

- 荷载-挠度曲线的计算如下
 - 结果：不稳定现象 => 横向扭曲屈曲



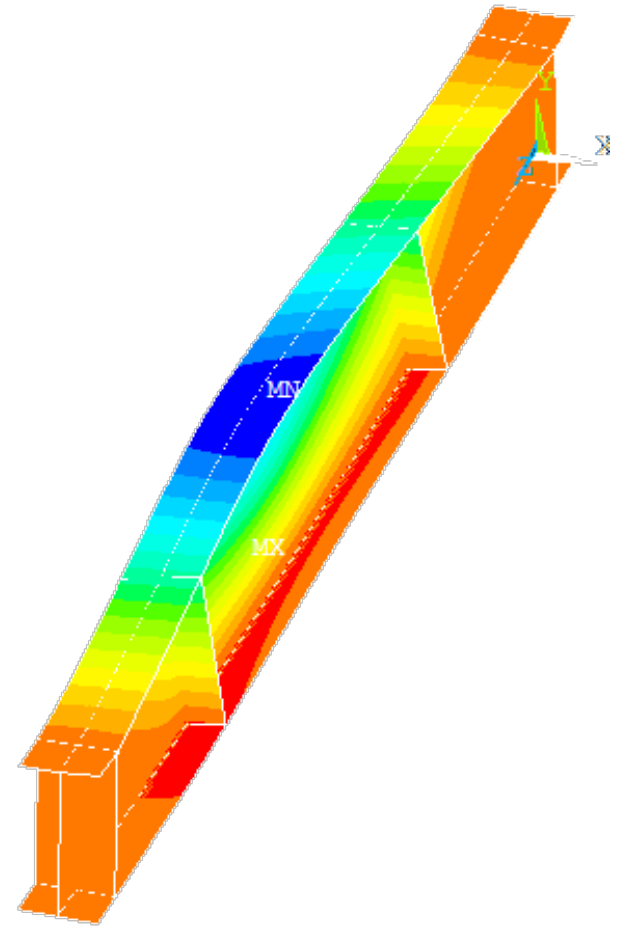
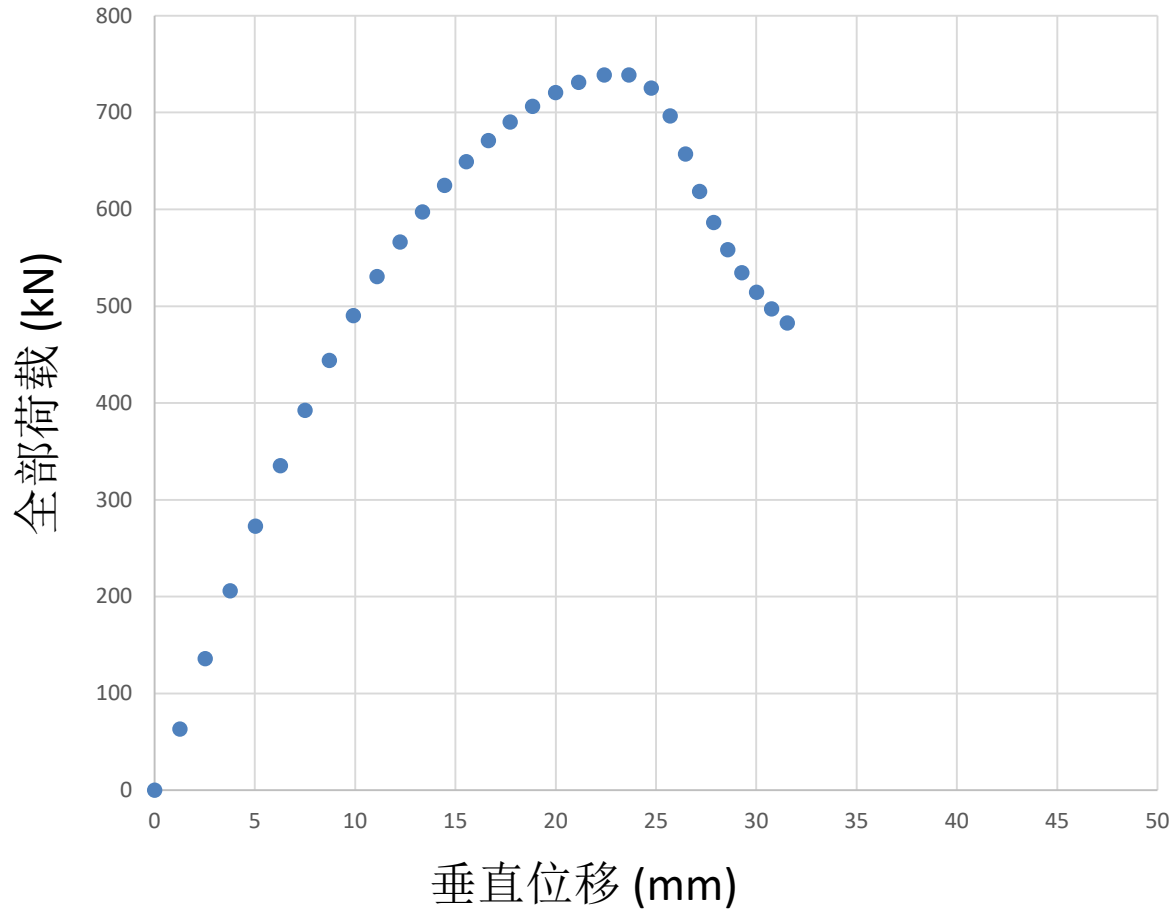
有限元模型

- 荷载-挠度曲线的计算如下
 - 结果：不稳定现象 => 横向扭曲屈曲



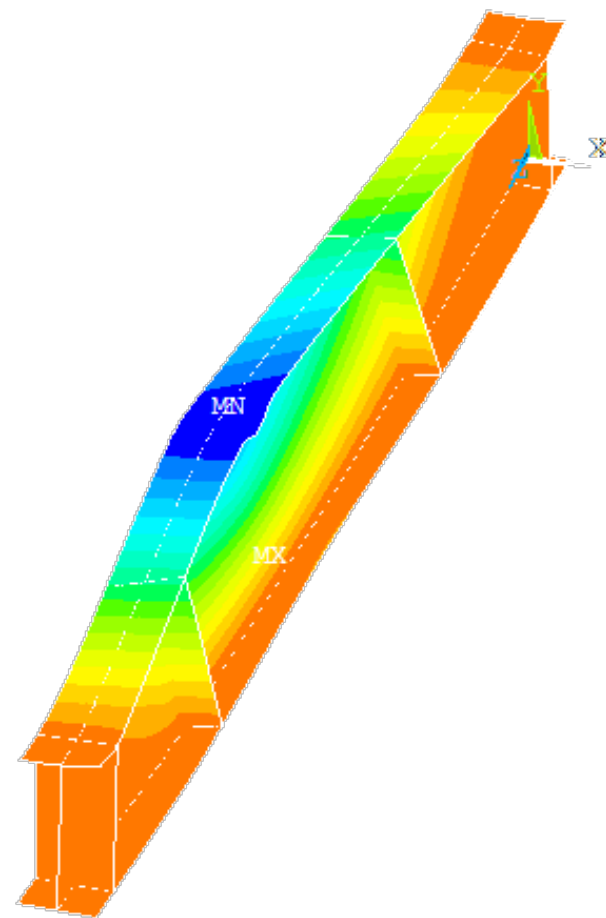
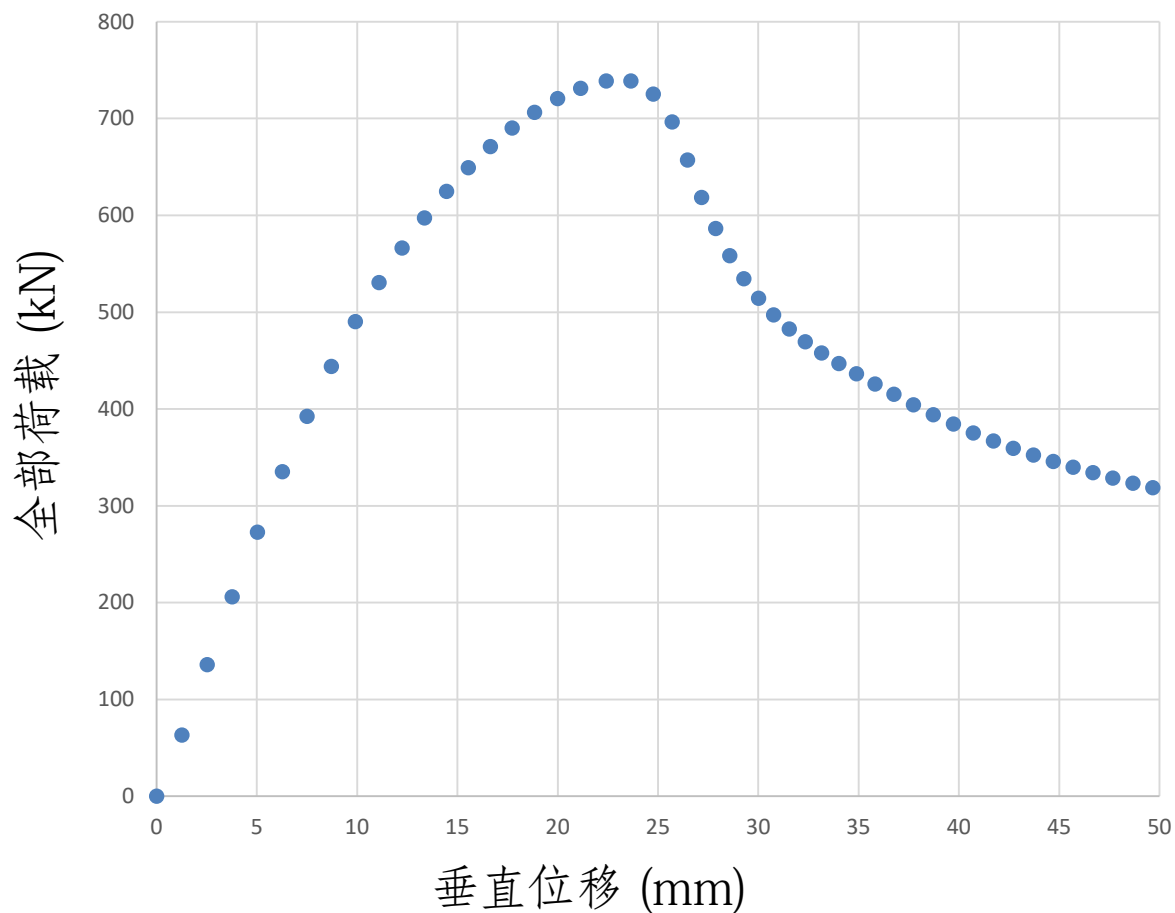
有限元模型

- 荷载-挠度曲线的计算如下
 - 结果：后屈曲行为

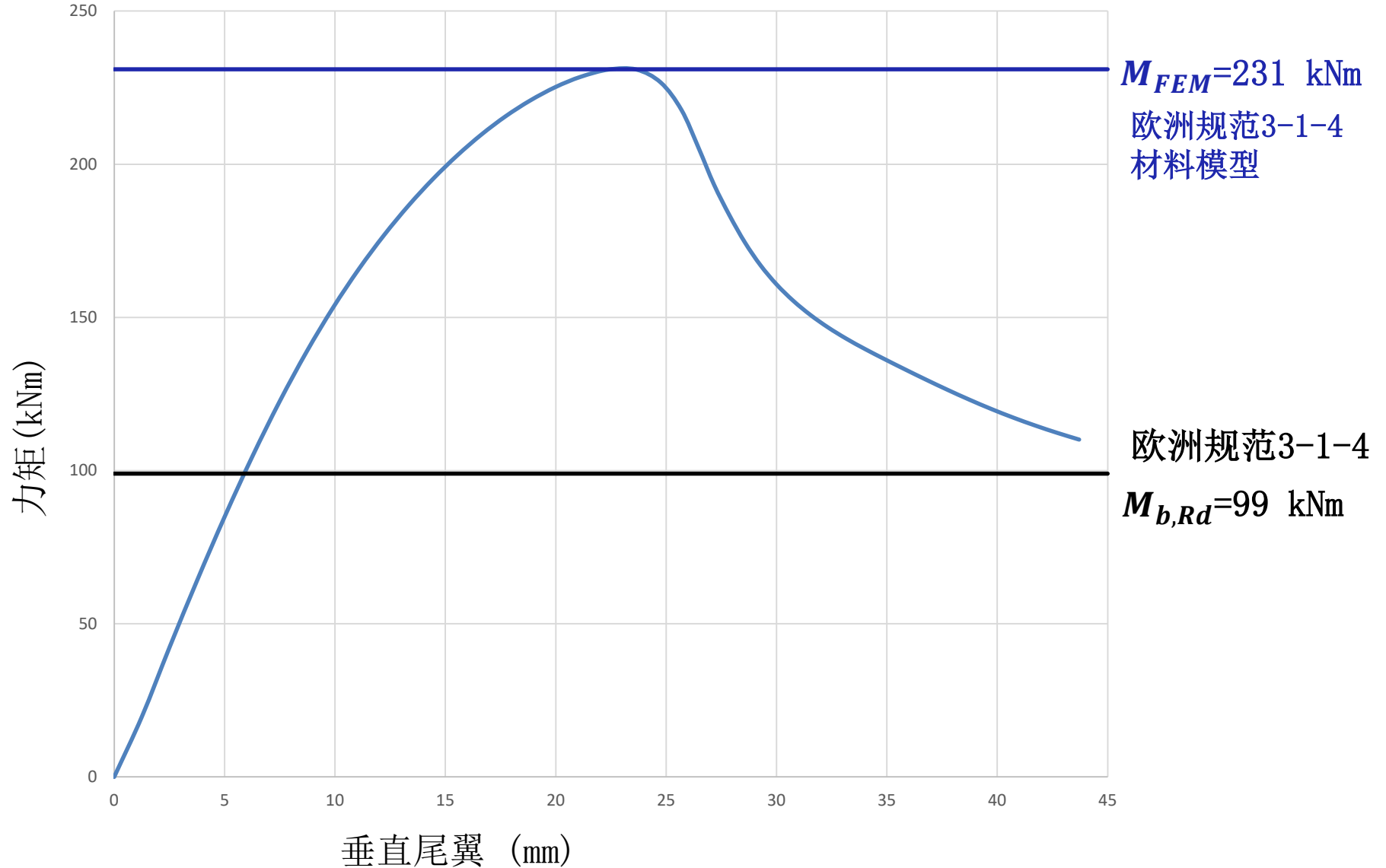


有限元模型

- 荷载-挠度曲线的计算如下
 - 结果：后屈曲行为

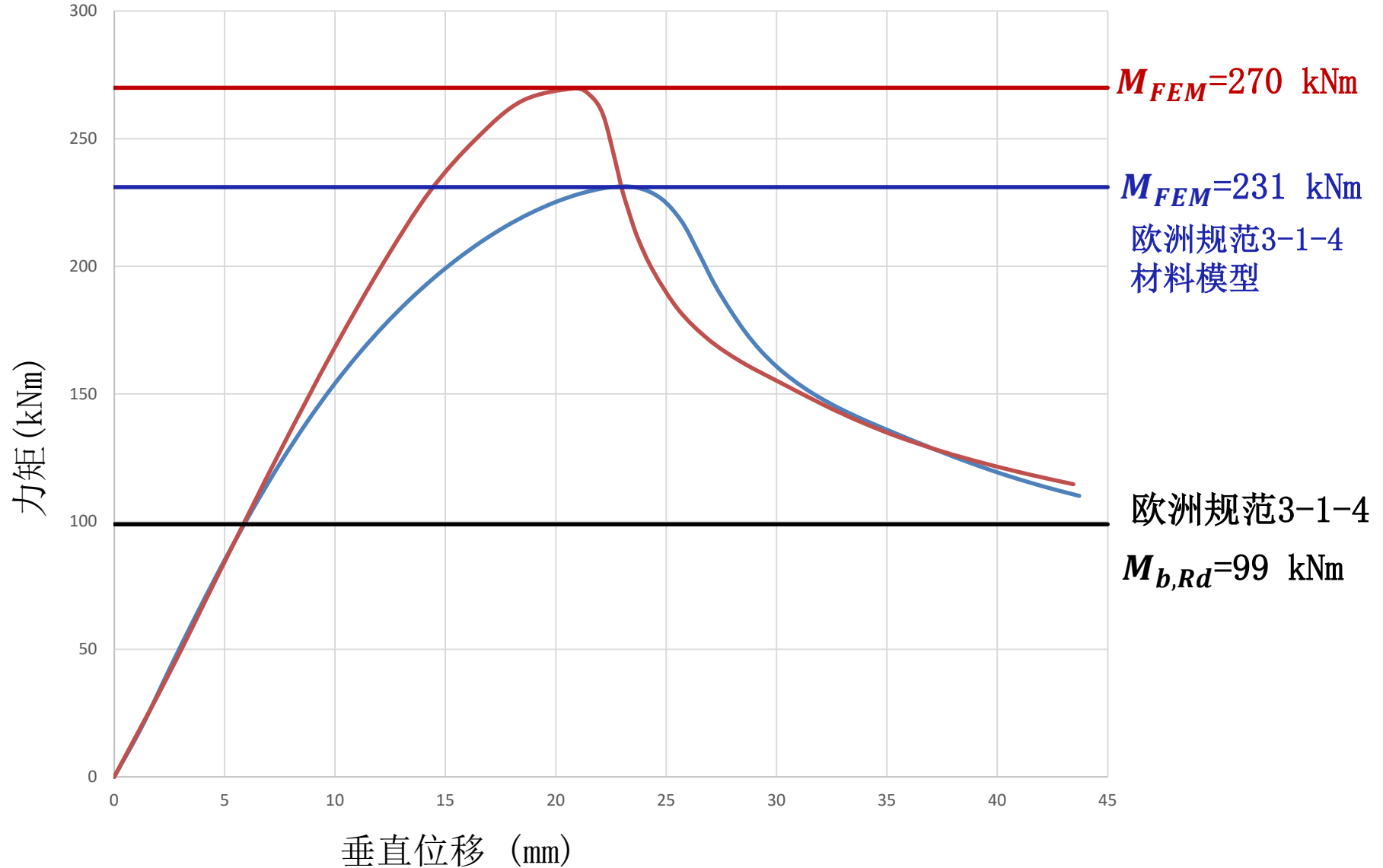


有限元模型



有限元模型

测量的材料参数



第5部分

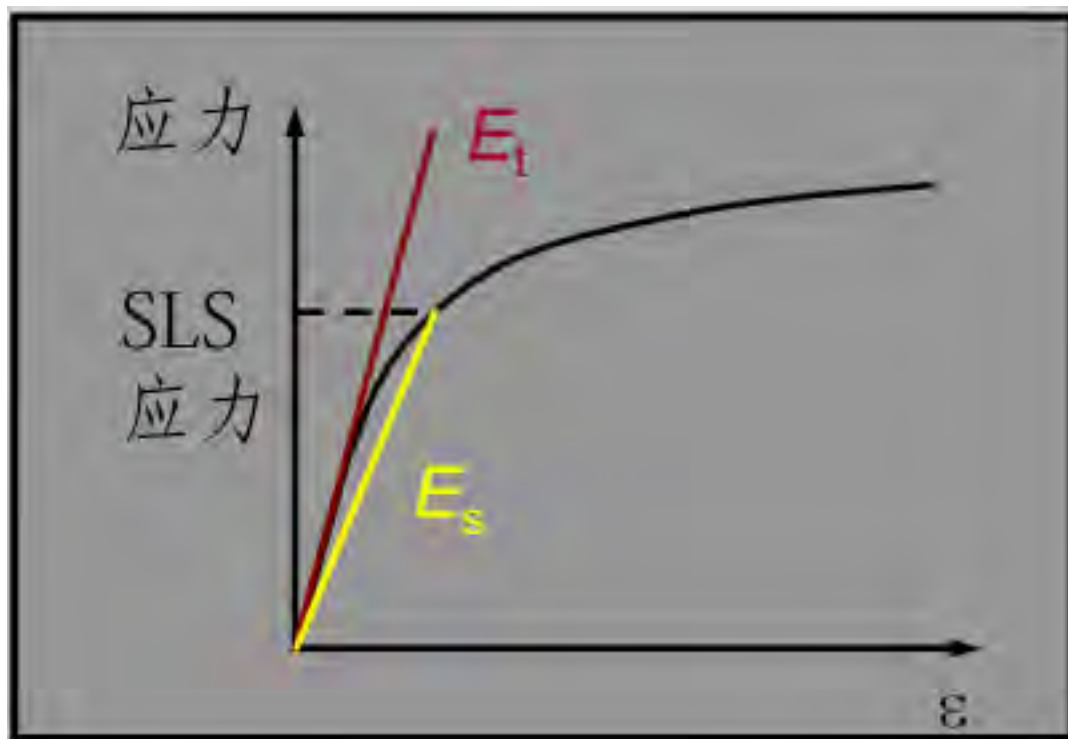
挠度

挠度

- 非线性应力—应变曲线表明，随着应力的增加，不锈钢硬度降低
- 不锈钢的挠度比碳钢略大
- 在构件正常使用极限状态（SLS）下，应力处采用割线模量

挠度

- 在正常使用极限状态SLS下，构件应力的割线模量 E_s



挠度

- Ramberg-Osgood 模型决定的割线模量 E_S :

$$E_S = \frac{E}{1 + 0.002 \frac{E}{f} \left(\frac{f}{f_y} \right)^n}$$

f 是正常使用极限状态下的应力

n 是非线性材料常数

奥体钢梁的挠度

| 应力比 f / f_y | 割线模量, E_s N/mm ² | % 挠度的增加 |
|------------------|----------------------------------|---------|
| 0.25 | 200,000 | 0 |
| 0.5 | 192,000 | 4 |
| 0.7 | 158,000 | 27 |

f = 正常使用极限状态的应力

第6部分

其他信息

地震荷载相应

- 高延展性（奥氏体不锈钢）+ 支持更多负载周期
⇒ 循环加载下滞回耗能更高
- 加工硬化更高
⇒ 提高大变形塑性区的发展
- 应变率依赖性更强 -
⇒ 应变率快，强度高

螺栓连接的设计

- 螺栓和母材的强度和耐腐蚀性应相似
- 应使用不锈钢螺栓来连接不锈钢构件，以避免双金属腐蚀
- 不锈钢螺栓也可用于连接镀锌钢和铝构件

螺栓连接的设计

- 间隙孔用不锈钢螺栓的规则一般适用于不锈钢（拉伸、剪切）
- 为了限制不锈钢高延展性引起的变形所需的轴承阻力的特别规定

$$f_{u, \text{red}} = 0.5 f_y + 0.6 f_u < f_u$$

预紧螺栓

- 当出现下列情况时，在桥梁、塔桅结构有用：
 - 有振动荷载的连接
 - 必须避免结合部件之间的滑动
 - 施加的负载经常从正值变为负值
- 不锈钢预紧螺栓没有设计规则
- 要始终进行测试

焊接接头设计

- 碳钢设计规则一般可适用于不锈钢
- 针对特定不锈钢级，选择合适的耗材
- 不锈钢需要做好特别准备后，才可以焊接碳钢

疲劳强度

- 焊接接头的疲劳性能取决于焊缝的几何尺寸
- 奥体钢和双相钢的性能至少与碳钢一样好
- 遵循碳钢指南

第7部分

工程师可用资源



工程师的资源

- 在线信息中心
- 案例研究
- 设计指南
- 设计案例
- 软件



STAINLESS STEEL P O R T A L

100
YEARS
OF
STAINLESS
STEEL

A CENTURY OF INNOVATION

From small beginnings a hundred years ago, stainless steel has grown to be an integral part of our lives. Utilised primarily for its corrosion resistance, stainless steel is also found in applications where strength, innovation and aesthetics are important.

[VIEW WEBSITE](#)

ONLINE INFORMATION
CENTRE FOR STAINLESS
STEEL IN CONSTRUCTION

[VIEW WEBSITE](#)

DESIGN MANUAL FOR
STRUCTURAL STAINLESS
STEEL

[VIEW PUBLICATION](#)

STRUCTURAL STAINLESS
STEEL CASE STUDIES

[VIEW CASE STUDIES](#)



建筑用钢信息中心

www.stainlessconstruction.com

The screenshot shows the homepage of the website. The header features the title 'ONLINE INFORMATION CENTRE FOR STAINLESS STEEL IN CONSTRUCTION' in a light blue box. Below this is a dark navigation bar with six menu items: SPECIFICATION, CODES & STANDARDS, DESIGN, FABRICATION & INSTALLATION, CASE STUDIES, and RESEARCH. The main content area is split into two columns. The left column contains the text 'Stainless steel at your fingertips...' followed by a paragraph: 'This website will lead you to essential technical information about the use of stainless steel in construction.' Below this is a 'Featured Resource' section titled 'Thames Gateway Water Treatment'. At the bottom of the left column is a search bar with the placeholder text 'Enter search query' and a blue 'GO' button. The right column features a large, high-quality photograph of a curved, stainless steel architectural structure, possibly a water treatment facility, with a view through the opening to a landscape with trees and a building.

12 结构案例研究

<http://www.worldstainless.org/news/show/446>



Steel Knowledge

结构用不锈钢案例研究 01

昂船洲大桥桥塔

香港昂船洲大桥为拉索结构,总长 1596 米,其中主跨长 1018 米。大桥横跨维多利亚港,于 2009 年 12 月通车,成为进入繁忙的葵涌集装箱码头的主要通道。这座大桥从香港岛和九龙的很多地方都可以看到。大桥最为引人注目的特征是位于两端的尖塔状双子塔,它们支撑着长达 80 米桥面。尖塔高于海平面 296 米,下部为强化混凝土结构,上部的 115 米为不锈钢外管和强化混凝土内芯构成的复合结构。

选材



图片 1: 昂船洲大桥全景

这座大桥的设计寿命为 120 年。鉴于大桥处于严峻的海洋和行车环境中,因此要求采用具有高耐久性的材料。此外,建造完成后,受持续不断的交通流量影响,对桥面进行维护将会非常困难。因为不锈钢具有耐久性和吸引人的外观,将桥上的复合结构部分选择了不锈钢作为桥壳。为便于维护,桥壳需要刷涂保护层,这层涂层在桥壳的 25-30 年后就需要重新涂装。



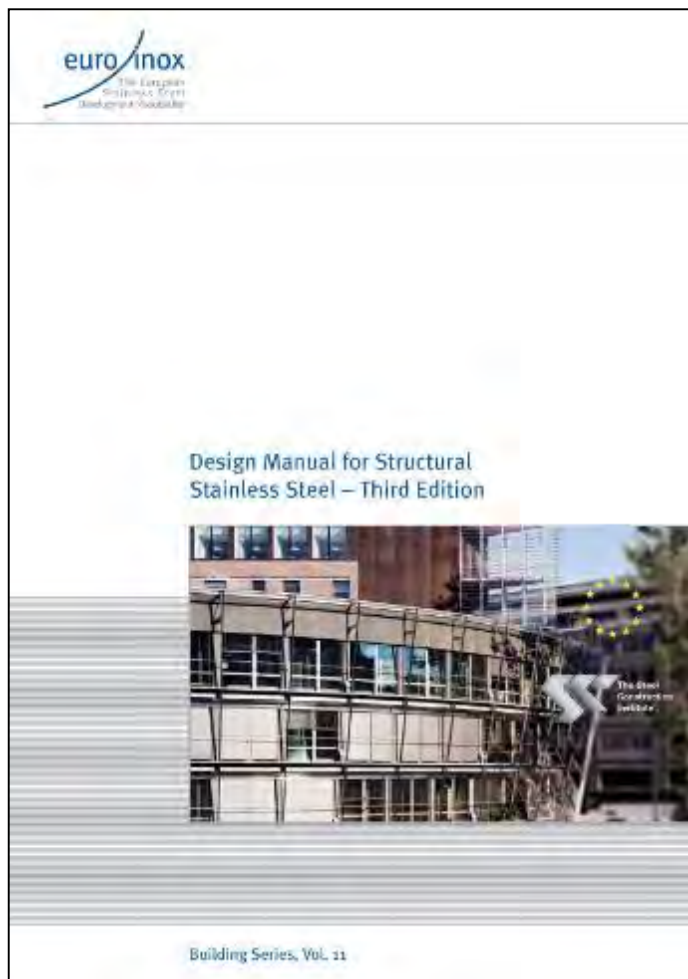
图片 2: 塔身特写

桥塔暴露在外的表面均规定采用表面光洁度为 1K 的冷轧 1K 的定义根据 EN10088 标准第 2 部分的规定,这种表面的平均粗糙度为 $R_a 0.5 \mu m$ 。通过使用氟化铝和氟化物的复合涂层对表面进行抛光处理,从而获得了一种有纹理处理,无方向性,低反射率的表面。

结构用不锈钢案例研究 01



欧洲规范设计指南



www.steel-stainless.org/designmanual

- 指南
- 评论
- 设计案例

在线设计软件:

www.steel-stainless.org/software

总结

- 结构性能：
与碳钢相似，但由于非线性应力—应变曲线，需要调整或改进
- 开发了设计规则
- 资源（设计、指南、案例研究、 样例软件）都可以免费获取！



谢谢

Barbara Rossi - barbara.rossi@kuleuven.be
Maarten Fortan - maarten.fortan@kuleuven.be

参考

- EN 1993-1-1. Eurocode 3: Design of steel structures - Part1-1: General rules and rules for buildings. 2005
- EN 1993-1-4. Eurocode 3: Design of steel structures - Part1-4: Supplementary rules for stainless steel. 2006
- EN 1993-1-4. Eurocode 3: Design of steel structures - Part1-4: Supplementary rules for stainless steel. Modifications 2015
- M. Fortan. Lateral-torsional buckling of duplex stainless steel beams - Experiments and design model. PhD thesis. 2014-...
- AISI Standard. North American specification Appendix 1: Design of Cold-Formed Steel Structural Members Using the Direct Strength Method. 2007
- B.W. Schafer. Review: The Direct Strength Method of cold-formed steel member design. Journal of Constructional Steel Research 64 (2008) 766-778
- S.Afshan, L. Gardner. The continuous strength method for structural stainless steel design. Thin-Walled Structures 68 (2013) 42-49

建筑/土木工程发言稿

第八章 不锈钢表面

内容

1. 不锈钢饰面
2. 三维表面
3. 织网
4. 参考

1 - 不锈钢饰面 1, 2

- 磨光
- 机械抛光和刷面处理
- 花纹处理
- 珠光处理
- 电抛光
- 着色
- 电解着色
- 电解着色与花纹处理
- 有机涂层
- 专业装饰处理

有多种表面
处理可供选
择

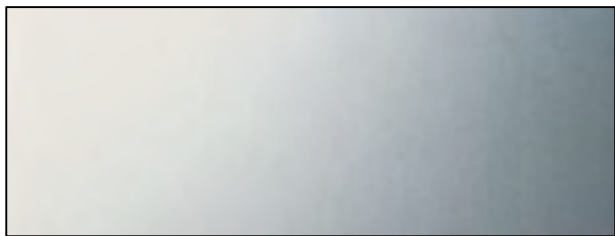
工厂交货冷轧处理 1, 3

标准中图表6的EN 10088-2冷轧处理，并附有典型的R值

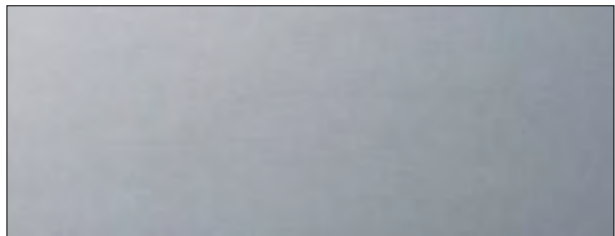
这些是最常见的

| 符号 | 加工工艺路线 | 注释 | 典型 (Ra) μm |
|----|--------------|--|---------------|
| 2B | 冷轧，热处理，酸洗，调质 | 最常见的“冷轧”处理。不反光，处理面光滑，平滑度控制良好。由于制造商的调质技术的局限，厚度有局限 | 0.1-0.5 |
| 2C | 冷轧，热处理，未除锈 | 光滑，热处理后形成氧化层，适合需要后续加工、后续除锈，或者耐热环境的部件。 | — |
| 2D | 冷轧，热处理，酸洗 | 更厚的钢板尺寸范围。平滑度不如2B，但对大多应用来说足以。 | 0.4-1.0 |
| 2E | 冷轧，热处理，机械除锈 | 粗糙暗沉。用于不易溶于酸洗液的锈垢。 | — |
| 2H | 冷轧，加工硬化 | 奥体钢的平整轧制能改进其机械性能。平滑度类似于2B | — |
| 2R | 冷轧，光亮退火 | 高反射的镜面表面，非常平滑。通常与塑料涂层一起供应，用于后续压制。产成品通常直接可用，不需进一步处理 | .05-0.1 |
| 2Q | 冷轧，淬火与回火，不生锈 | 只用于马氏体钢（例如：420）。热处理的保护性环境避免生锈，或者可以在热处理后除锈。 | — |

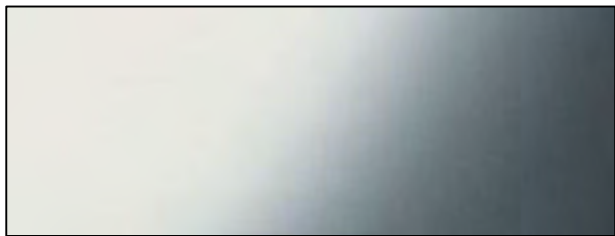
常见的轧制光洁度



2B 生产出的2D产品，经过高度抛光辊轻轧后，表面更加平滑、反射性强，并出现灰色光泽。这是目前最常用的表面处理，是大多抛光和刷面处理的基础。



2D 其表面比1D更加精细，通过冷轧，热处理和酸洗来实现。低反射的哑光表面适合工业和工程需求，也适用于建筑中对美观度要求不高的应用。



2R 无氧环境下光亮退火后，用抛光辊冷轧，就形成能够清晰反射影像的高度反射表面。超级平滑的表面使空气中的细菌或水分无法驻留，而且易于清理。

有多种特殊
处理的选择

特殊处理 1, 3

标准中表6提供的EN 10088-2 特殊处理，同时提供典型Ra值指引

| 符号 | 加工工艺路线 | 标注 | 典型 (Ra) μm |
|----------|---------------|---|---------------|
| 1G or 2G | 打磨 | 可以在 ‘1’ 或 ‘2’ 级出厂品底材上加工，有着非质地，反射性不是很强 | - |
| 1J or 2J | 刷面抛光后磨砂 | 可在 ‘1’ 或 ‘2’ 级出厂品底材上加工，比 “G” 级更平滑，反射性不强 | 0.2-1.0 |
| 1K or 2K | 拉丝抛光 | 可以在 ‘1’ 或 ‘2’ 级出厂品底材上处理，最平滑的特殊非反射饰面，耐蚀性强，适合户外应用。 | < 0.5 |
| 1P or 2P | 亮面抛光 | 可以在 ‘1’ 或 ‘2’ 级出厂品底材上处理。机械抛光反射表面。可以是镜面处理。 | < 0.1 |
| 2F | 冷轧，热处理，粗糙轧辊调质 | 均匀的非反射哑光表面，可以在 “2B或2R出厂品基础上加工。 | - |
| 1M or 2M | 花纹 | 可以在 ‘1’ 或 ‘2’ 级出厂品底材上加工。只有单面花纹。包括方格花纹钢板（一级出厂品）和精细质地处理（2级出厂品）。 | - |
| 2W | 波纹 | 型材轧制（例如：梯形或正弦形） | - |
| 2L | 着色 | 用于平材（2R，2P或者2K型）或者各种颜色的花纹（2M）钢片底材 | - |
| 1S or 2S | 表面涂层 | 可以在 ‘1’ 或 ‘2’ 级出厂品底材上加工。一般单侧有金属涂层，例如锡、铝或钛涂层 | - |

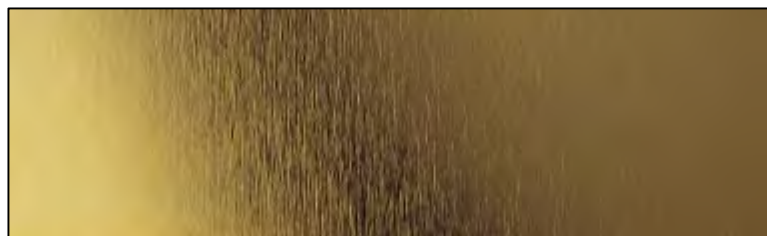
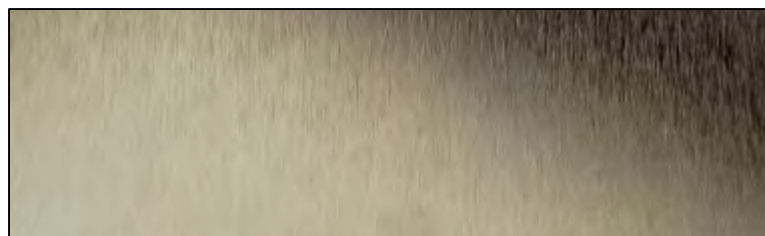
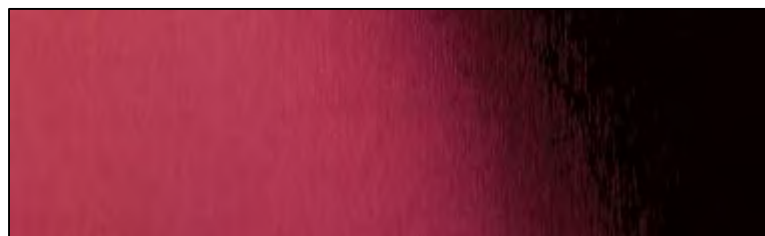
花纹饰面 4, 5, 7

下列例子说明钢片单面使用花纹饰面，其级别是2M。目前有多种花纹可选



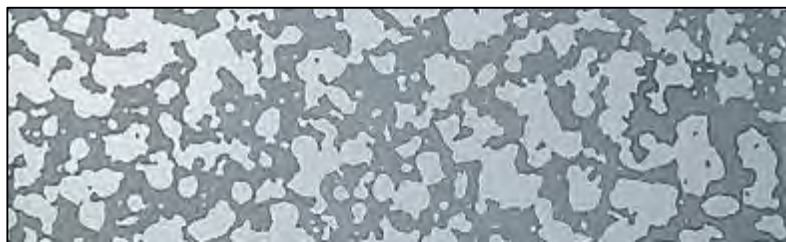
色彩处理，5, 7

这里仅列出了不锈钢电解着色能够制作的几种色彩



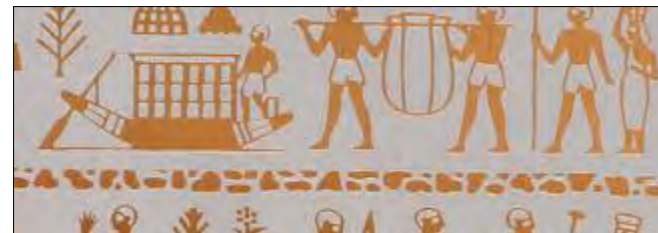
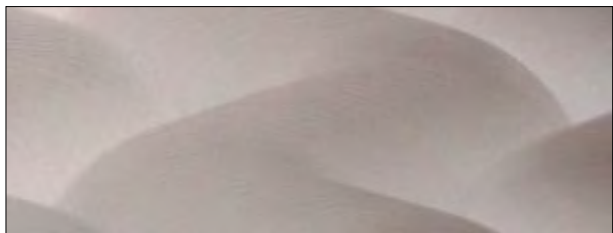
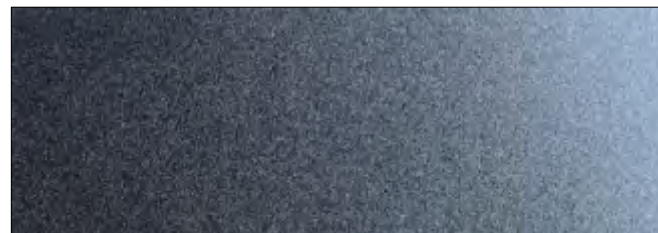
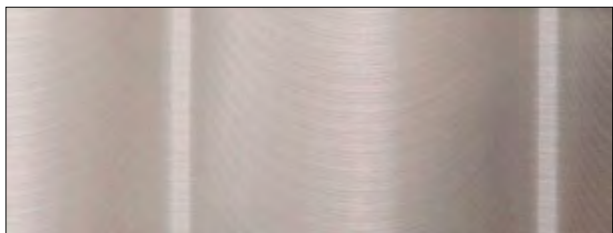
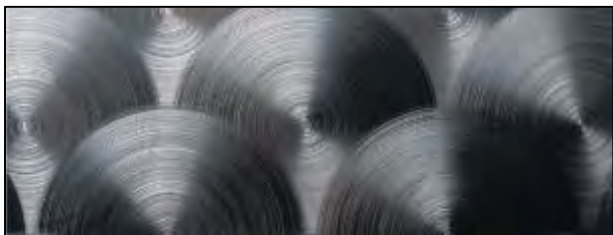
蚀刻图案^{4,5,7}

丝网和光刻处理技术已经发展到可以将任何图案转印到不锈钢表面，其后钢表面发生酸蚀以显示图案。酸蚀法是一种少量去除表面材料的方法。蚀刻表面会有钝化和轻微粗糙的外观，正好与抛光或缎面抛光的没有被酸蚀的表面形成对比。此外，在酸蚀之前和之后，都可以用电化着色的方法来着色。



专有饰面 4, 5

专业公司可以提供各种特殊的和定制的饰面
请参看下面的示例



电抛光⁶



产生光亮的、反射表面，并具有下列特点：

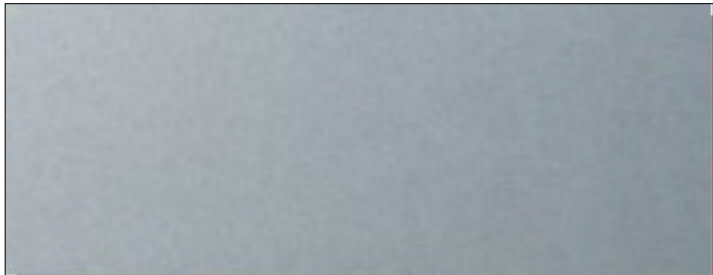
- 优化各种等级钢的耐腐蚀性
- 易于消毒和清理
- 涂鸦容易清理

但是

- 非常规表面更明显
- 擦痕和机械损害也更明显

珠光处理 8

使用不同的珠光处理材料会改变表面外观，
例如： 小玻璃珠（上图）或碎玻璃（下图）



请注意：

不锈钢有多个不同牌号，为各种设计问题，从恶劣环境要求的高耐腐蚀性到高强度要求，从易成型到易焊接等等提供广泛的解决方案。同样，不锈钢可提供各种表面处理方案，帮助建筑师实现其审美诉求。同样，不锈钢还可以实现多种表面处理，从普通哑光处理，到纹理图案和色泽的软抛光，再到高抛光镜面处理等等。不锈钢为想象力丰富的设计师提供了多种方案选择。

表面光泽度处理要谨慎使用，不要产生意外的反光或热反射等问题。尤其要注意那些外立面朝南，或外立面呈凹陷形的建筑。

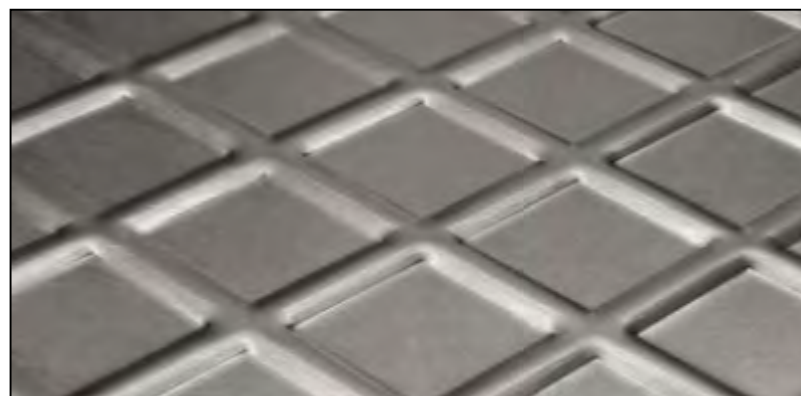
建筑师们每天都在不锈钢上使用各种 表面处理⁷方法

在第十章的案例中，您会看到一些
建筑的案例，其中表面处理对其外
观美学至关重要

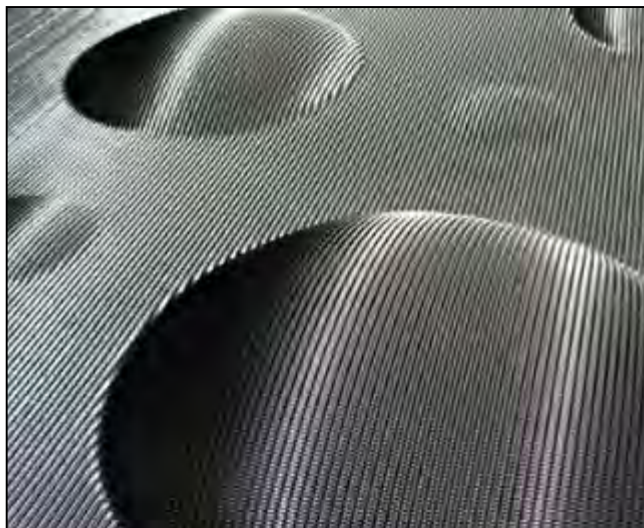
2 - 三维表面处理⁹

即：比压纹、冲压、切割、压型等
工艺做出的图案更具三维特点……
通常需要电脑辅助机器来实现

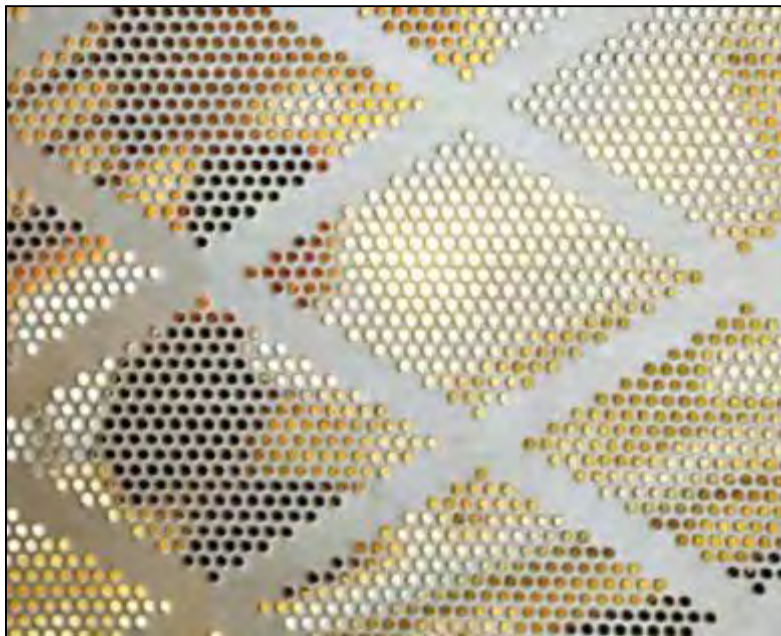
浮雕图案 9



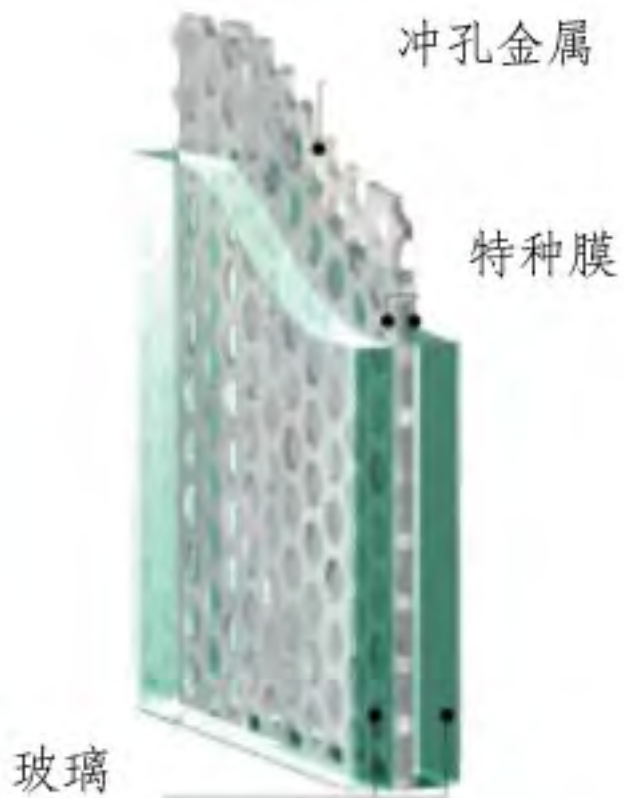
不规则形状⁹ (液压成型)



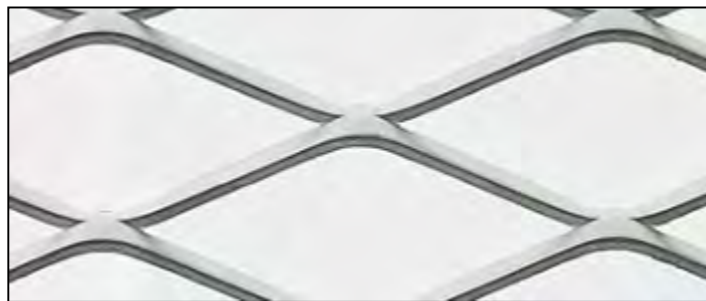
穿孔金属片⁹



使用穿孔钢片的半透明玻璃板 10

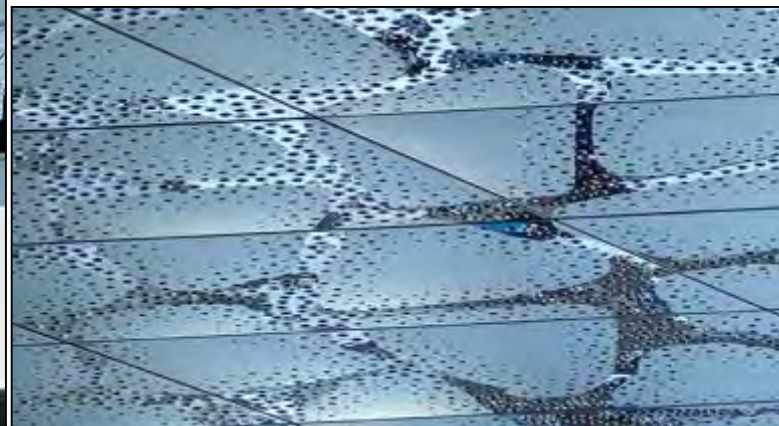


钢丝网板



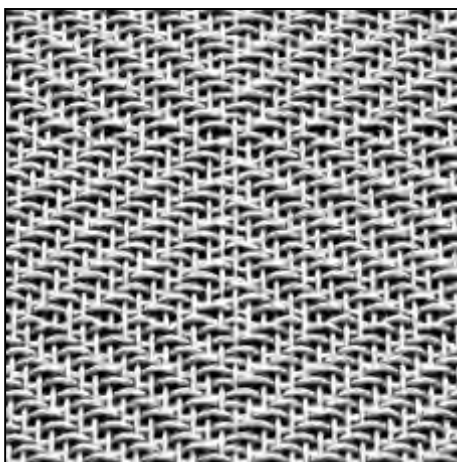
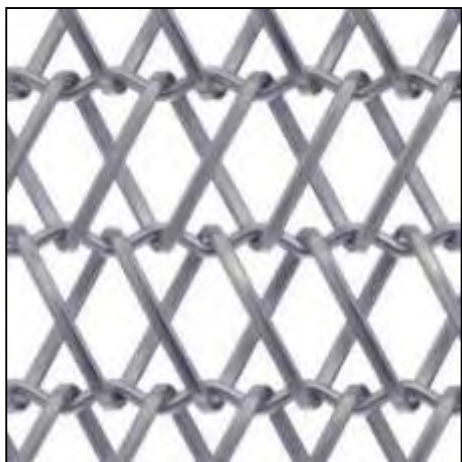
技巧的组合 11

斯德歌尔摩滨海建筑：
多孔并着色的不锈钢天花板完美地复制了右下角的融冰



3 - 织网

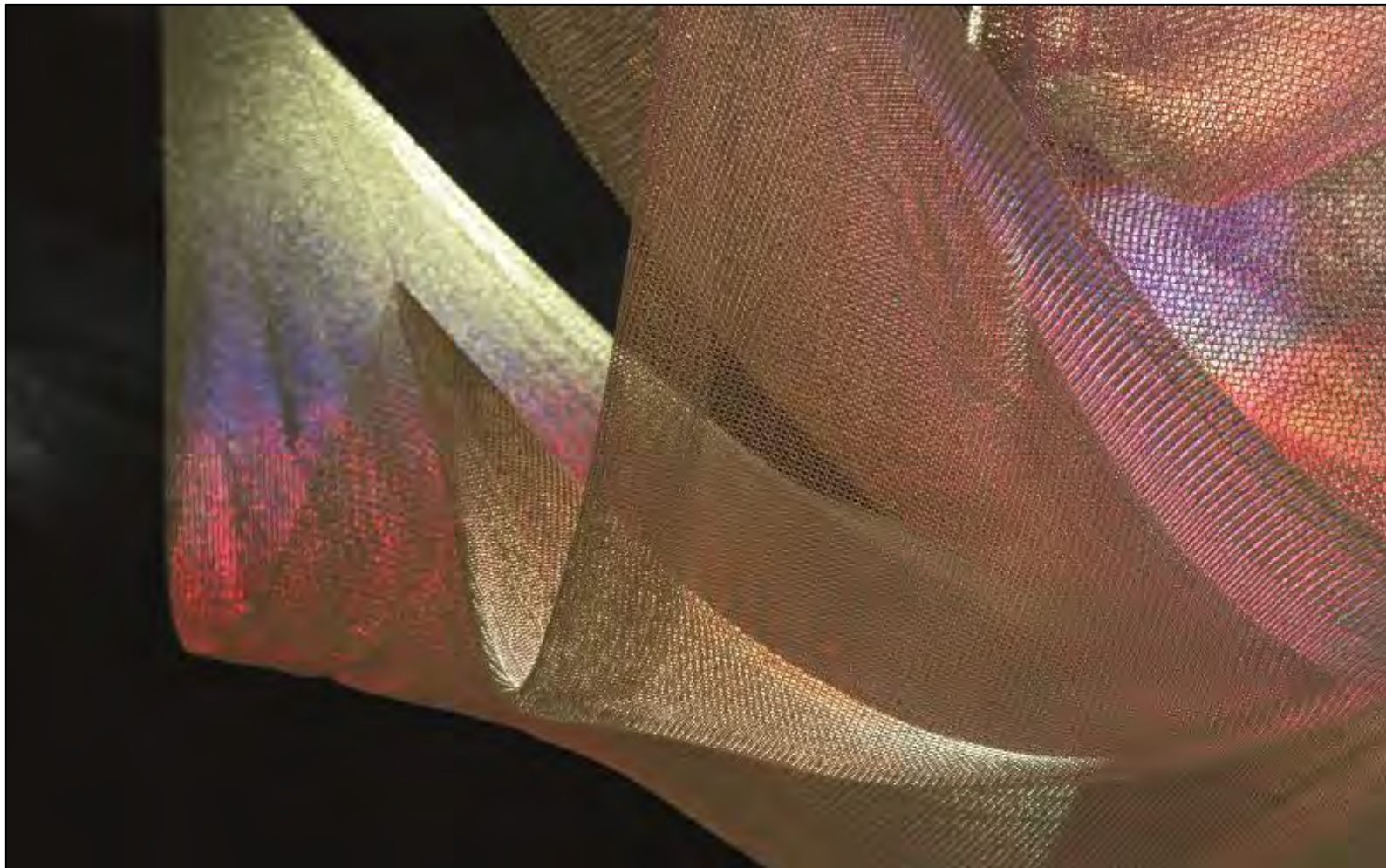
标准12-14



目前有多种编织图案
可选，同时具备可调节的：

- 刚性
- 开放区域
- 光扩散
- 声透明度
- 颜色
- ...

不锈钢网装饰案例

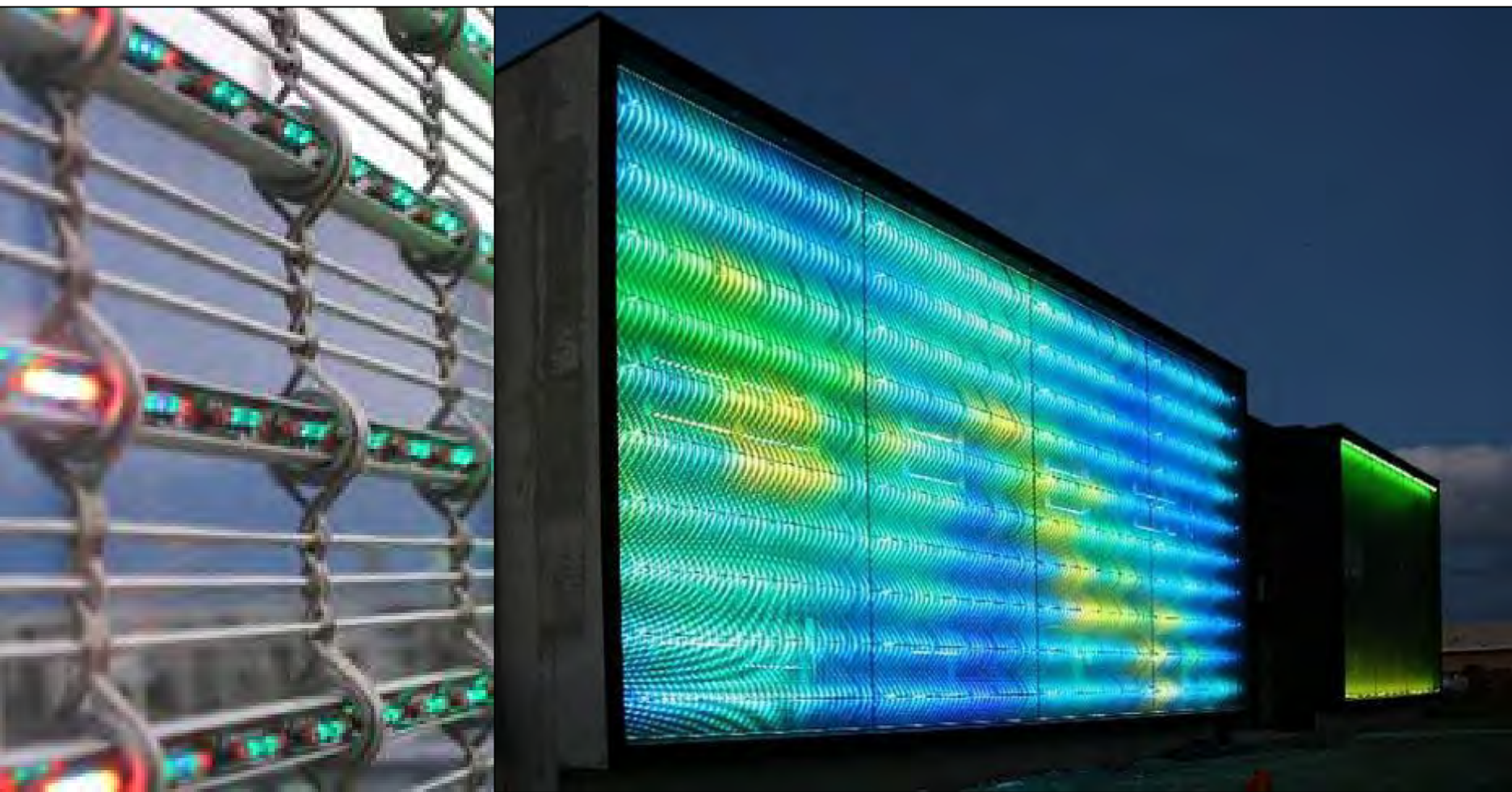


不锈钢网做外墙装饰

不锈钢网在装修中被广泛应用。它可做出很多效果。例如和LED灯产生如图所示的灯效（施华洛世奇总部大楼）



不锈钢与LED灯的交织 13



4 - 参考与资料

1. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/Finishes02 EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/Finishes02%20EN.pdf)
2. http://www.ssina.com/download_a_file/special_finishes.pdf
3. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=47>
4. www.uginox.com/sites/default/files/public/Triptyque%20Lusignan_web.pdf
5. <http://www.poligrat.de/home/>
6. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/Electropolishing EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/Electropolishing%20EN.pdf)
7. <http://www.legrand-sm.fr/>
8. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/3D Finishes EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/3D%20Finishes%20EN.pdf)
9. <https://cambridgearchitectural.com/projects/ft-lauderdale-hollywood-international-airport-rental-car-center>
10. <https://www.exyd.com/waterfront-building.html>
11. <http://cambridgearchitectural.com>
12. <https://gkd.de/architekturgewebe/>
13. <http://www.diedrahtweber-architektur.com/de/anwendungen-architekturgewebe/medienfassade/>
14. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/RoughnessMeasurement EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/RoughnessMeasurement%20EN.pdf)

谢谢！

建筑/土木工程演讲稿

第九章

不锈钢的连接与制造

内容

1. 连接
2. 制造

1 - 连接

可用的连接工艺：包括所有的！

| 工艺（参考） | 视频 | 首选工艺 |
|---------------------------|---|-----------------------------------|
| 焊接(1-5) (使用广泛) | MIG 焊接 TIG 焊接 焊接机器人 | 焊接接头强度高 不用拆解 |
| 紧固（使用广泛） | 例子 | 易于现场组装 组装不同的材料（木头、玻璃……），后期需要拆解 |
| 铜焊/锡焊 | 锡焊 | 水密性（大多用于屋顶） |
| 机械 压装 折叠 其他…. | 压装例子 | 筒管的永久连接 水密性（大多用于屋顶） |
| 粘接 (不经常用，但 使用量越来越大) | | 表面处理完整性 |

电弧焊接

电弧焊接的优势

- 与退火条件下的焊接性能相同
- 焊接头最结实
- 可以在现场或在车间完成
- 可以焊接任何形状的薄材和厚材
- 可以焊接相同的或不同的金属（通常碳钢会选择合适的过滤材料）
- 可以抵抗疲劳和循环负荷
- 与未退火的贱金属一样，具有耐腐蚀性和耐热性

电弧焊接的局限性

- 不适合所有等级的钢
- 需要高质操作人员和流程
- 会产生热变形
- 焊后表面需要处理（例如喷砂处理）
- 冷加工材料会有机械性能损失

电弧焊接

视频：抛光焊接处点



机械紧固

机械紧固的优势

- 可以拆卸
- 在现场施工来说比较理想
- 快
- 不需要操作员技能高

机械紧固的局限性

- 不如焊接结实
- 可能导致缝隙腐蚀（请参看耐腐蚀那章）

选择合适的紧固件

德国建筑技术研究所*已经发布了《根据环境选择紧固件的若干建议》。请阅读参考资料4中的表格1（暴露类）和表格8（按类别分不锈钢牌号）



* Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)



压装 (该工艺 只用于钢管)



压装的优势

- 密封度良好，液体气体不会逸出
- 速度快
- 没有火焰
- 表面非常清洁
- 对操作员技能无要求

压装的局限性

- 不能拆解
- 每个直径的钢管都需要套筒



粘接

粘接的优势

- 连接处几乎宽不出来，改进了产品外观
- 应力分布均匀，应力承压区面积更大
- 可以连接形状的薄材与厚材
- 既可以连接相似材料，也可以粘接差异材料
- 减小或防止异种材料间的电化学（电偶）腐蚀
- 抗疲劳和及循环载荷
- 使得粘接处线条流畅
- 是粘接处在各种环境下保持良好的密封性
- 热绝缘，电绝缘
- 不会有热变形
- 减震缓震
- 提供更具吸引力的强度/重量比
- 比机械紧固更快，更便宜

粘接的局限性

- 对粘接区域无法进行肉眼检查
- 通常需要用腐蚀性材料对表面进行审慎处理，用腐蚀材料
- 需要更长的固化时间，尤其是没有使用高固化温度时
- 可能需要夹具、压装机、炉子和压热器，其他紧固方法通常不需要这些器具
- 不应暴露于将近180 ° C的操作温度中
- 需要严格的流程控制，包括对大多粘接剂来说很重要的清洁度。
- 取决于它所暴露的环境

粘接应用



粘接栏杆组件 (DeLo-Duopox AD895)

- 填补缝隙，适合或大或小的粘接间隙
- 良好的耐化学性和耐老化
- 内外均可以使用
- 效率：灵活的模块化栏杆安装。同时避免了焊接所需的额外步骤，包括打磨、抛光

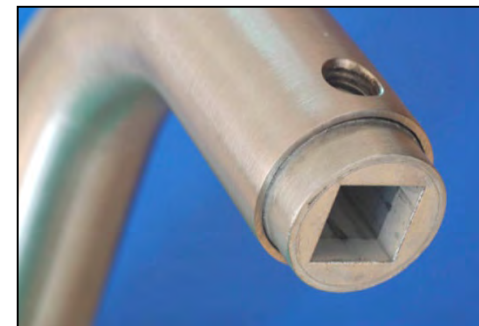


位于德国汉诺威这栋6层高大楼，利用粘接法将钢板（等级1.4404）安装在外墙上，没有使用其他任何机械紧固措施。

结构粘接用胶粘剂的选择

| | 用不锈钢 | 半结构粘接用胶粘剂 | | | | |
|-----------|------|-----------|---------|-----|-----|------|
| | | 硅 | 硅烷改性聚合物 | 聚氨酯 | 丙烯酸 | 环氧树脂 |
| 不锈钢 | 是 | ● | ● | ● | ○ | ● |
| 碳钢 | 是 | ● | ● | ○ | ○ | ● |
| 碳钢/喷漆 | 是 | ● | ● | X | ○ | ○ |
| 碳钢/镀锌 | 是 | ● | ● | X | ○ | ○ |
| 铝 | 是 | ● | ● | ○ | ○ | ● |
| 木材 | 是 | ● | ● | ○ | ○ | ● |
| 玻璃/陶瓷 | 是 | ● | ● | X | ○ | ● |
| 塑料PVC | 是 | ● | ● | X | X | X |
| 塑料PA | 是 | ○ | ● | X | ○ | |
| 塑料聚丙烯/聚乙烯 | 否 | X | X | X | X | X |

● 高度推荐 ○ 推荐 X 不推荐



粘接组装门把手



粘接法用在楼宇中很实用，如果用不锈钢的话，必须要紧固在砖石或天然石头上。

关于连接的参考资料

1. http://www.worldstainless.org/Files/issf/animations/WeldedFabrication/start_1.html
2. <http://www.wikihow.com/Weld-Stainless-Steel>
3. http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/WeldingofStainlessSteelandotherJoiningMethods_9002.pdf
4. <http://www.edelstahl-rostfrei.de/page.asp?pageID=1590>
5. <https://www.sciencedirect.com/book/9781855734289/metallurgy-of-welding>
6. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Adhesive_bonding_EN.pdf
7. <http://shura.shu.ac.uk/3115/>
8. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_for_Designers.pdf
9. http://www.delo.de/fileadmin/upload/dokumente/en/broschueren/Structural_Bonding.pdf
10. <https://www.ellsworth.com/globalassets/literature-library/manufacture/ellsworth-adhesives/ellsworth-adhesives-white-paper-structural-bonding.pdf>
11. <http://www.sciencedirect.com/science/book/9781845694357>

2 - 加工制造

有非常全面的资料，请参看参考资料清单

参考资料1时培训课程，专门针对不锈钢的制造

第10章列出了在建筑、楼宇和施工中的系列应用：现在，各种形状、各种处理都可以加工制造。

各工艺视频

- 不锈钢熔炼于轧制 <https://www.youtube.com/watch?v=5zwgI-pQ6kE>
- 剪切和弯曲 https://www.youtube.com/watch?v=VMu7_WOQE3Y
- 水切割加工 <http://www.sastainless.com/videos/index.html>
- 深冲压 https://www.youtube.com/watch?v=n-ht_5Ysurc
- 线材弯曲机 <https://www.youtube.com/watch?v=kDoSDiiZx6U>
- 弹簧成型机 <https://www.youtube.com/watch?v=SwY-RT4DBxY>
- 轧制成型机 https://www.youtube.com/watch?v=44XD5mZoM_0
- 机加工(铣削) <https://www.youtube.com/watch?v=LDxNDWObTyg>

网上还有其他视频材料

关于加工的参考资料

1. <http://www.issftraining.org/>
2. http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Austenitics.pdf
3. http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Duplex Stainless Steel 3rd Edition.pdf
4. <https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF The Ferritic Solution Chinese.pdf>

谢谢你！

建筑/土木工程发言稿

第十章 形状与可用性

为什么“形状与可用性”？

- 对建筑师/土木工程师来说，交付时间及成本很重要
- 所有不锈钢产品从钢厂开始
 - 经历不同工艺形成不锈钢产品
 - 其后，股东、交易商提供各种服务
- 因此交付时间和成本可能相差很大

不锈钢生产的背景信息

- [视频](#): 炼钢及热轧卷板
- [视频](#): 热轧卷材
- [视频](#): 冷轧卷板
- [视频](#): 炼钢及热轧钢棒
- [视频](#): 线材轧制
- [视频](#): 线材轧制

不锈钢供应链

简化



产品

卷钢，薄钢板，钢板
钢棒，钢丝
钢筋

定制：
切割一定长度
切割成形
抛光…

服务

最低重量 1 板
按订单生产
交货周期 2 - 3 周
最低价格/公斤

小订单
从库存获得
较短交付周期 (1-3天)
服务价格溢价



产品

紧固件
管件
阀件
配件

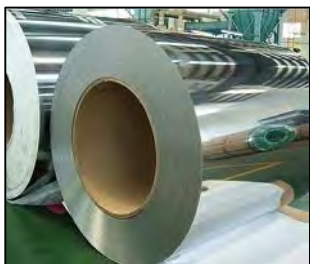
服务

从库存中获取
较短交付周期 (1~3天)
服务价格溢价

板材产品

工厂交货

冷轧钢卷



冷轧钢带



冷轧抛光钢板

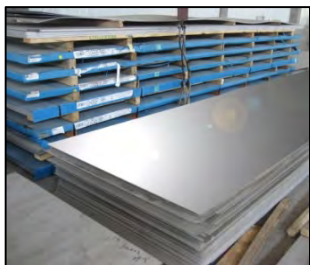


海关

激光切割成形



钢板



钢板支撑的工字梁



门窗型材



夹子



Standard tubes



模压筒管



管件



栏杆



长材产品

工厂交货

钢棒



强化钢筋



盘条



系杆



钢缆



钢网



螺纹钢筋



混凝土锚



紧固件

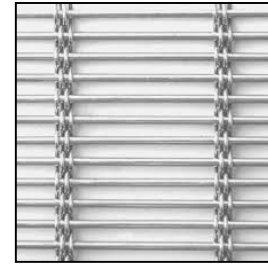


海关

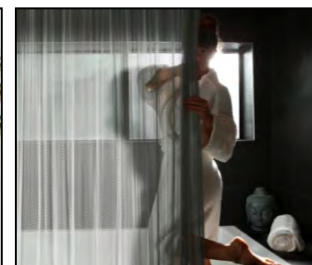
把手



遮阳板



网状浴帘



未来趋势

减缓气候变化和促进可持续发展的紧迫性将在未来几年带来重大变化

有可能出现的新产品：

- 翻新产品：楼宇/设施中的不锈钢被拆下来，重新加工后，不损失任何性能，可以再服务一个生命周期。
- 在保证服务质量不变的前提下，强度更高、体积更薄的产品的耗材更少。目前已经开始了对节约型双相不锈钢和冷加工奥氏体钢的开发工作。

参考

主要不锈钢厂商

<https://www.worldstainless.org/about-issf/issf-members/>

谢谢！

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:

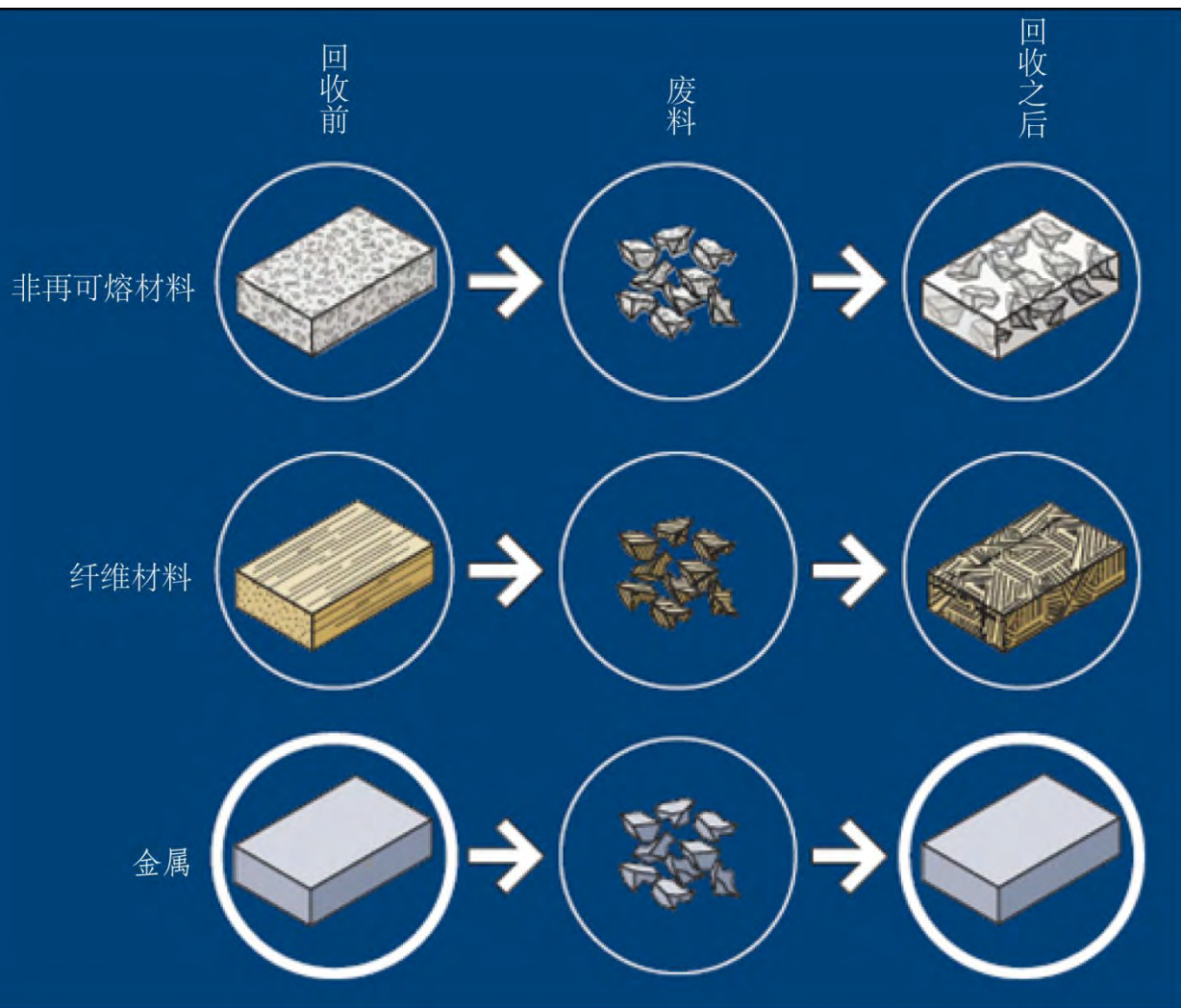
- **失时工伤**: 失时工伤率是指每百万工时的失时工伤数量 ⁽¹⁾

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⁾

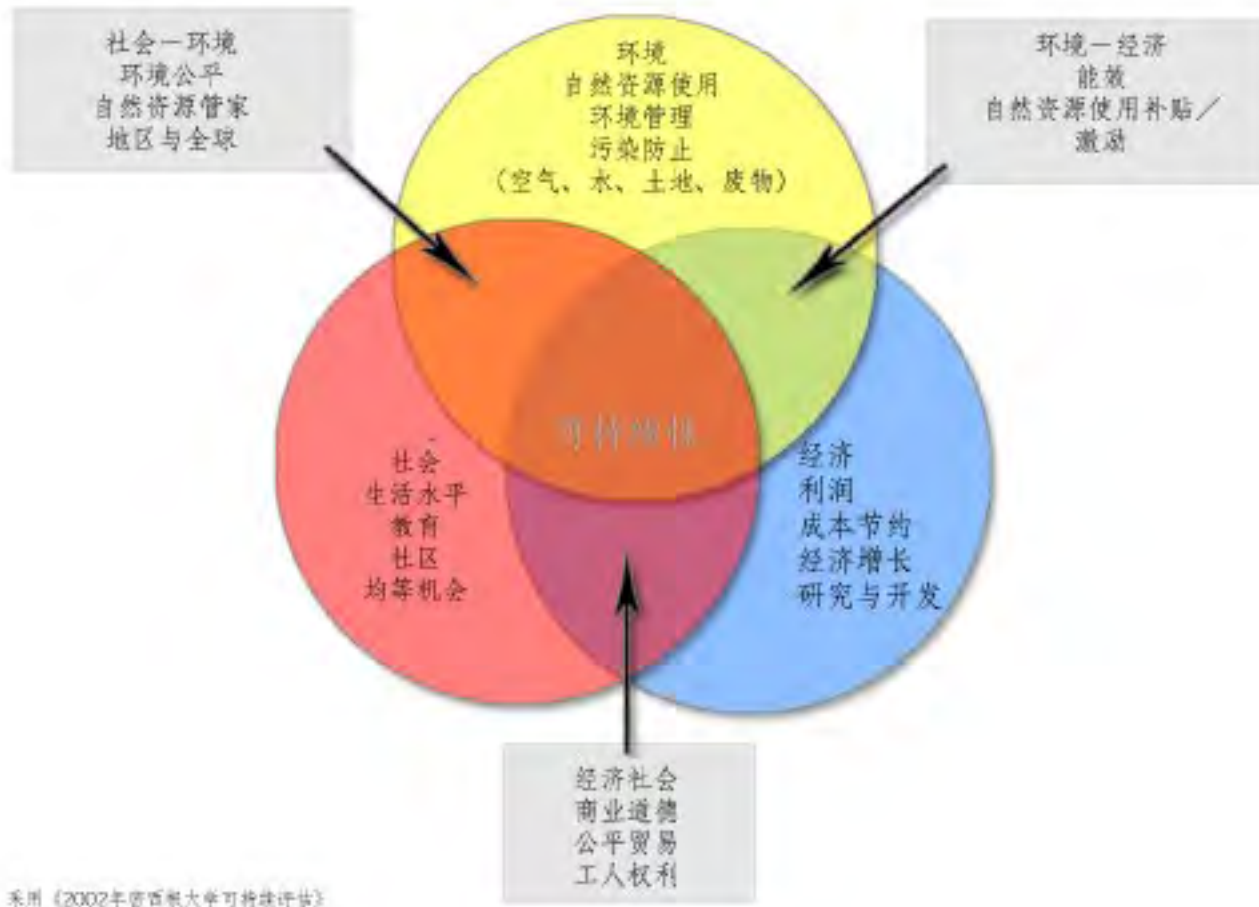
下循环比废料好，但相对于循环经济来说，还需改进

(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

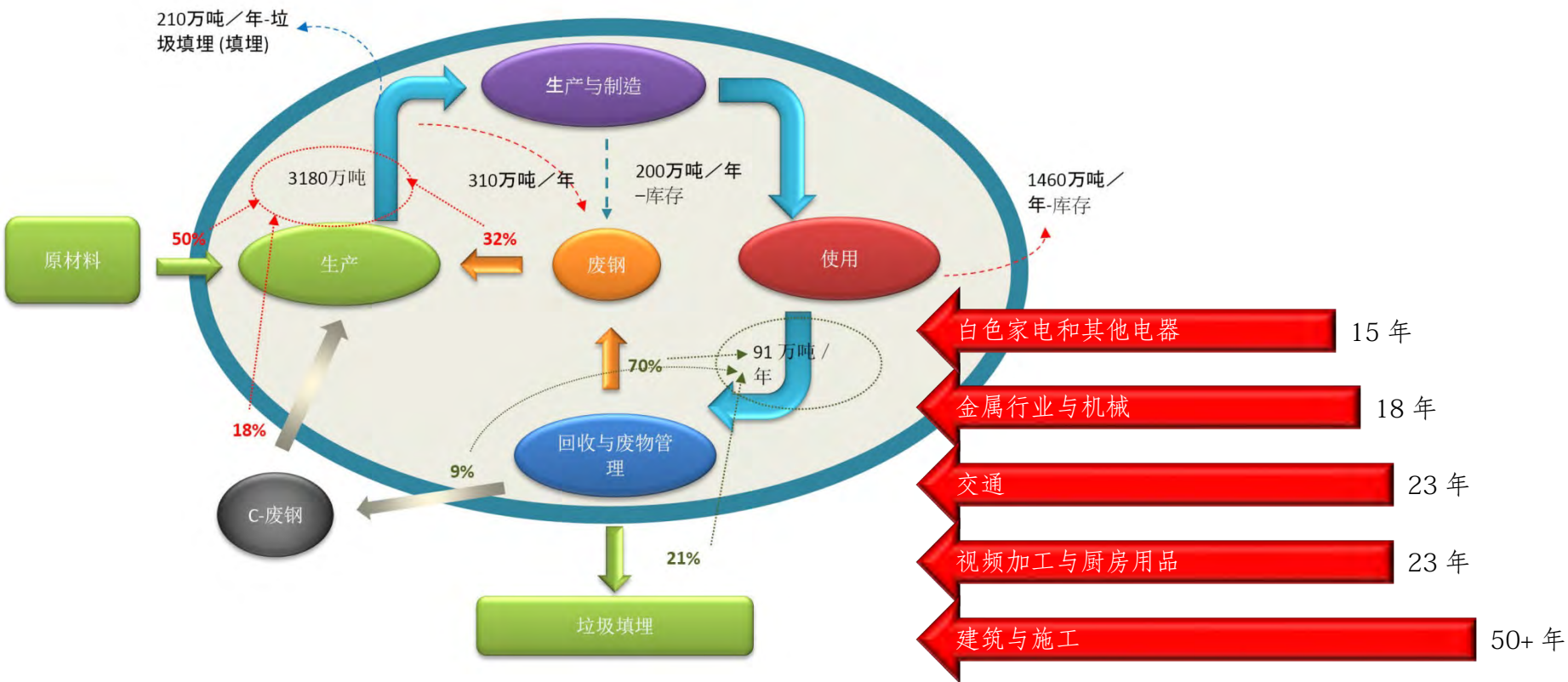
“可持续性关注的产品的整个周期，从原材料采集，规划、设计、建设和运营，到最终报废及废物管理”。 (Rossi, B. 2012)⁹

不锈钢的可持续性：

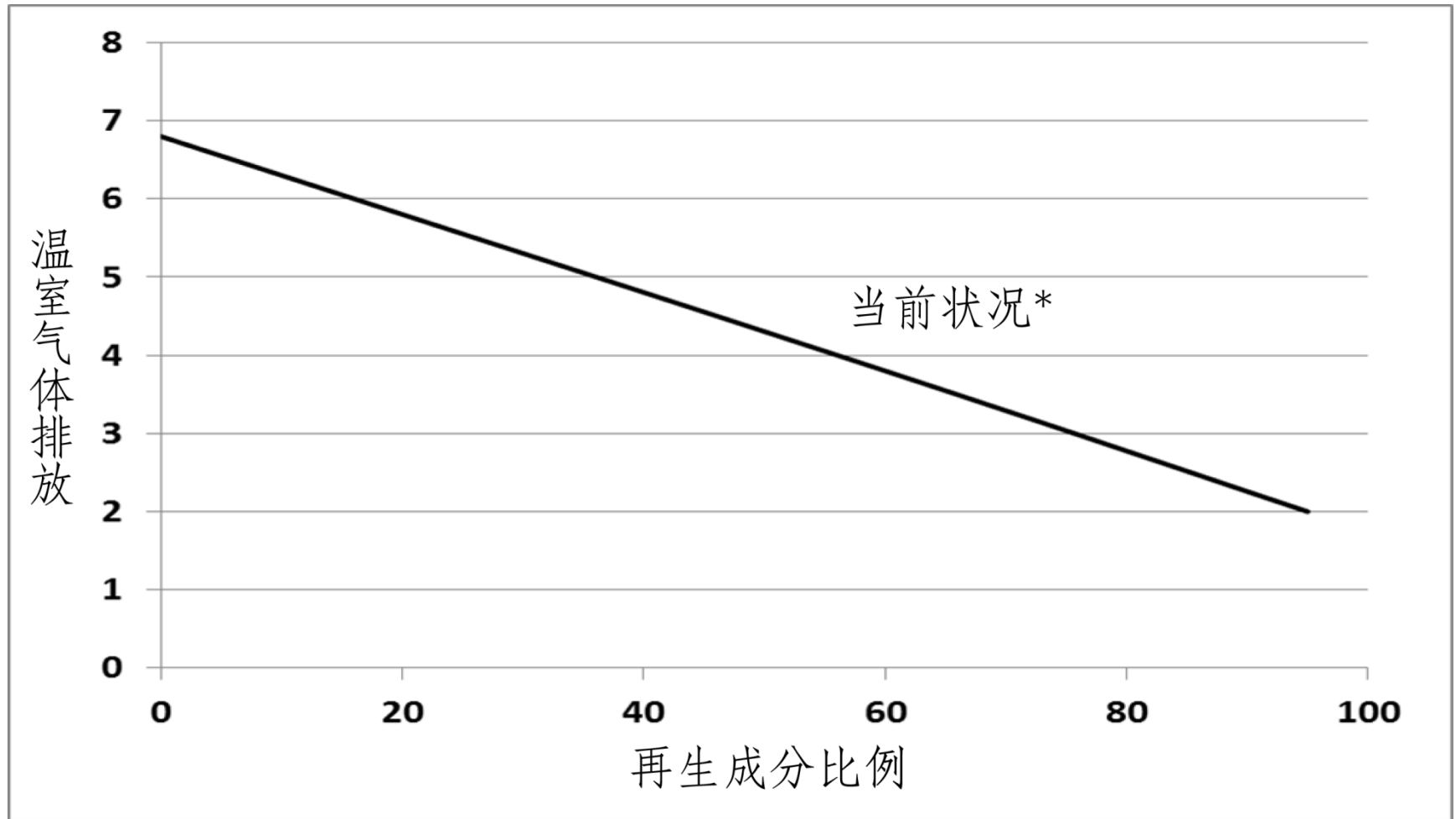
1. 环境
2. 社会
3. 经济

1. 环境

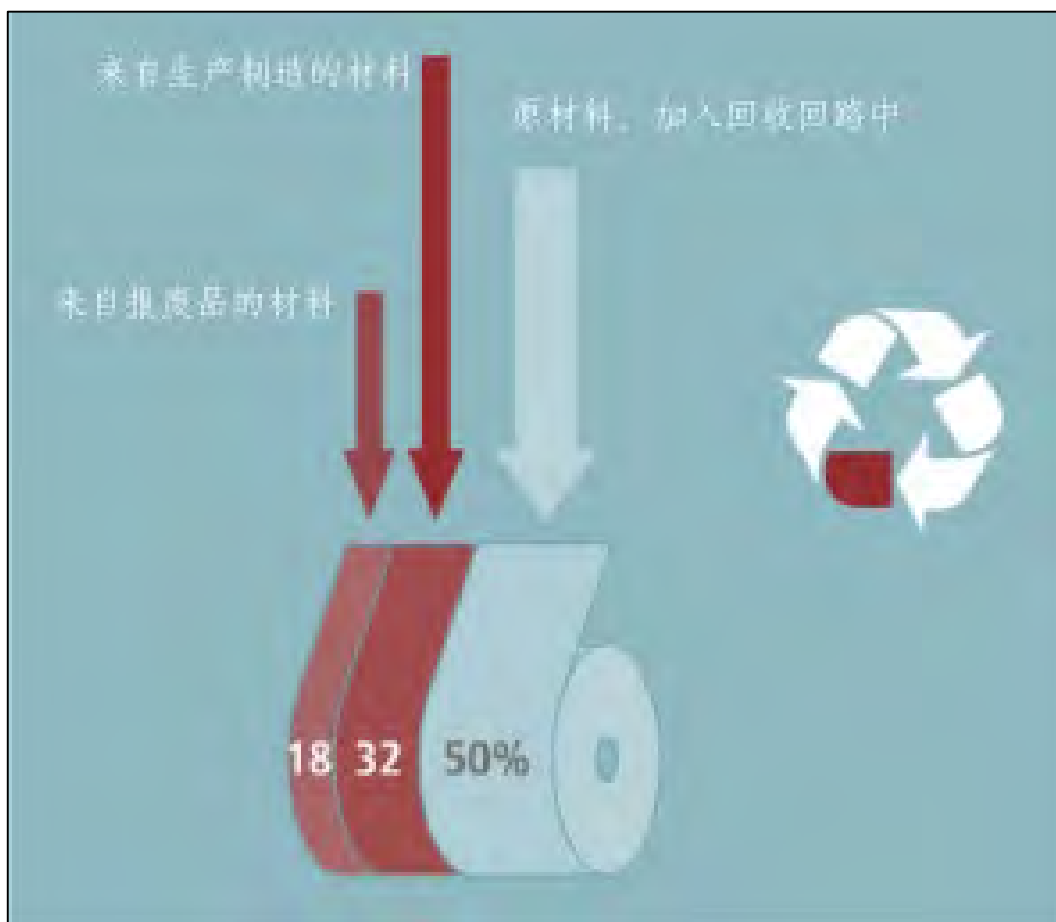
生产 ⇨ 使用 ⇨ 回收



温室气体排放与再生成分比例 11, 12, 13, 14



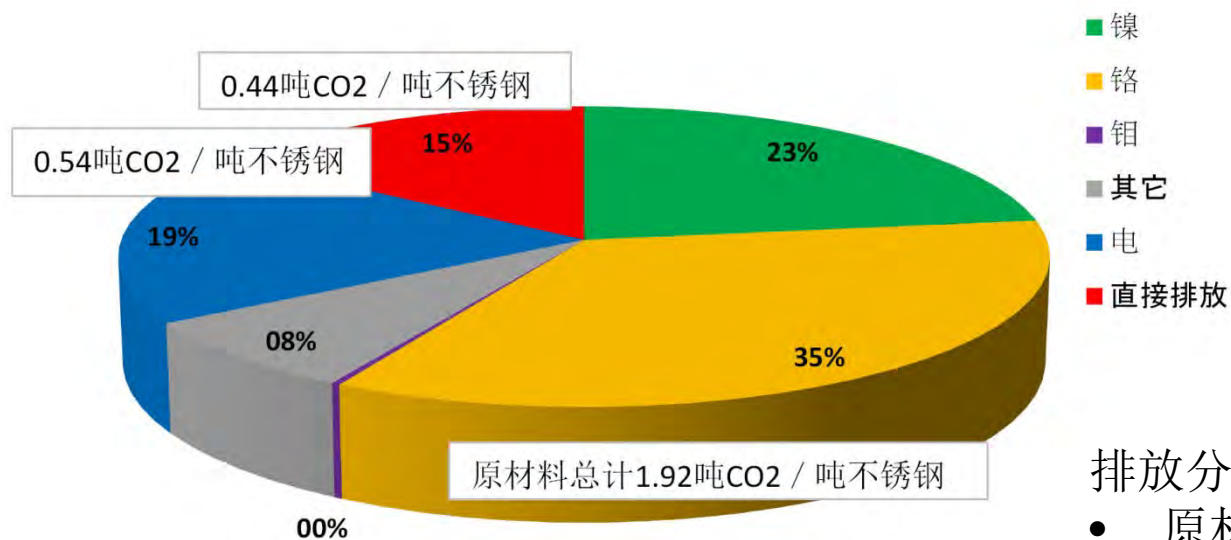
* 再生成分比例受到可用废钢的限制



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)



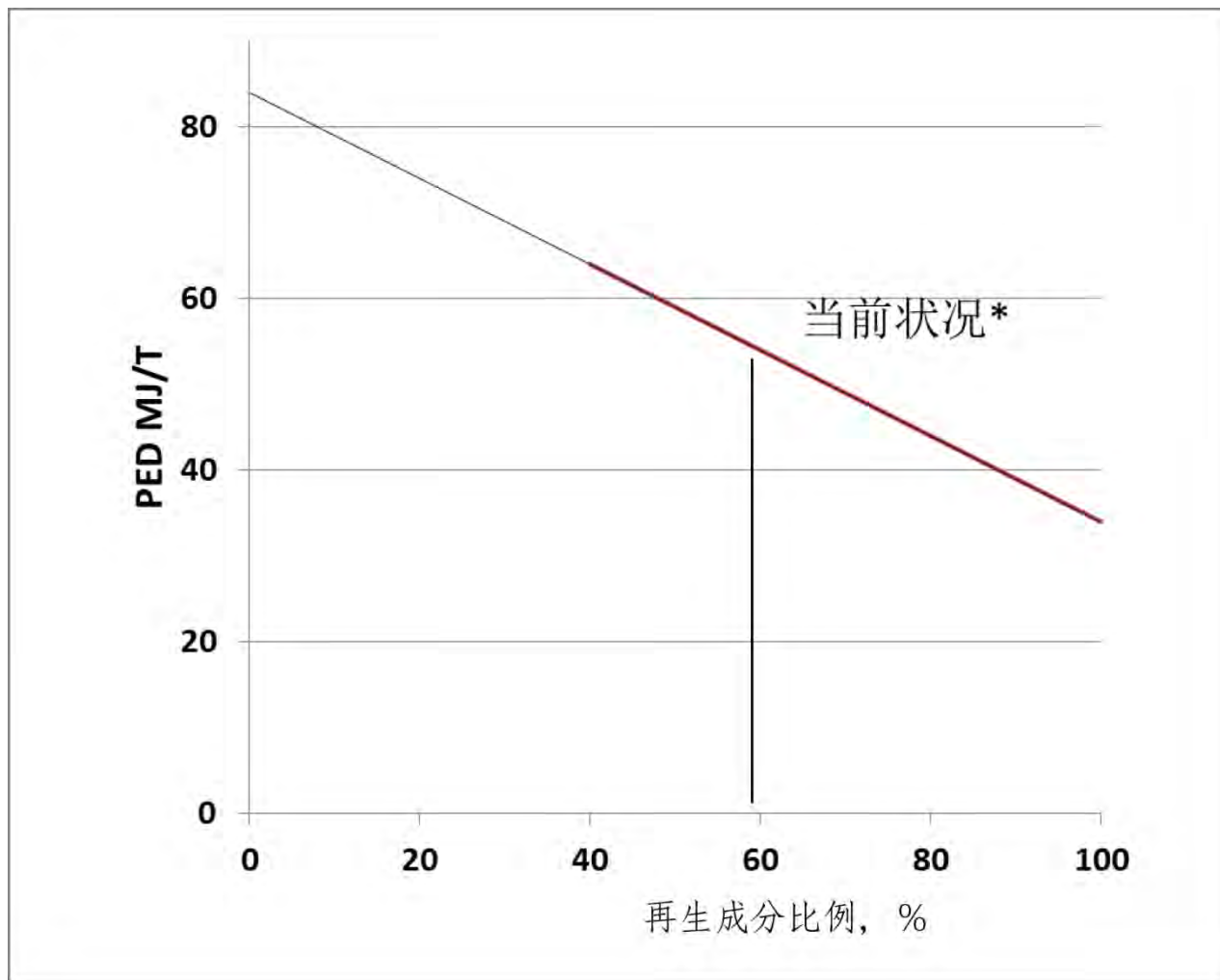
排放分解为:

- 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 |

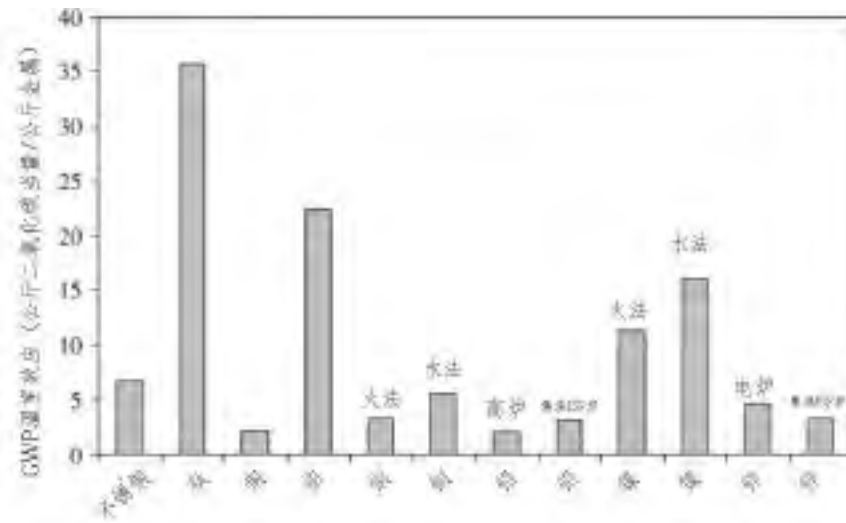
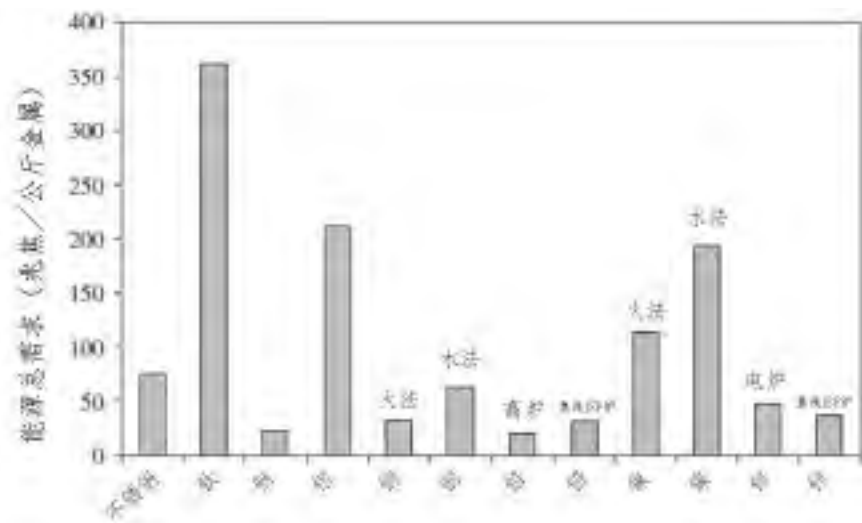
GER: 总能量需求
潜在AP: 酸化潜力

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

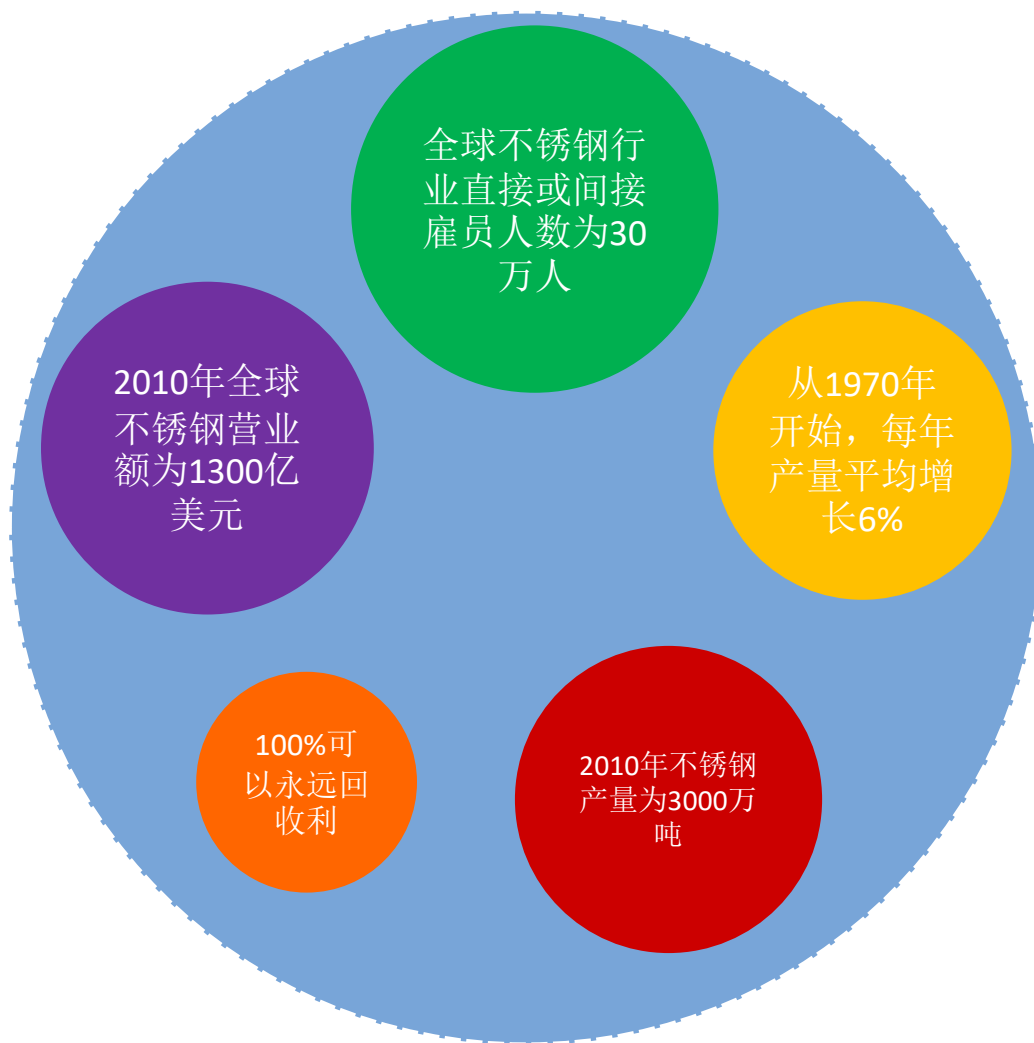
自那之后无需维护，一致保持原始状态。

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。

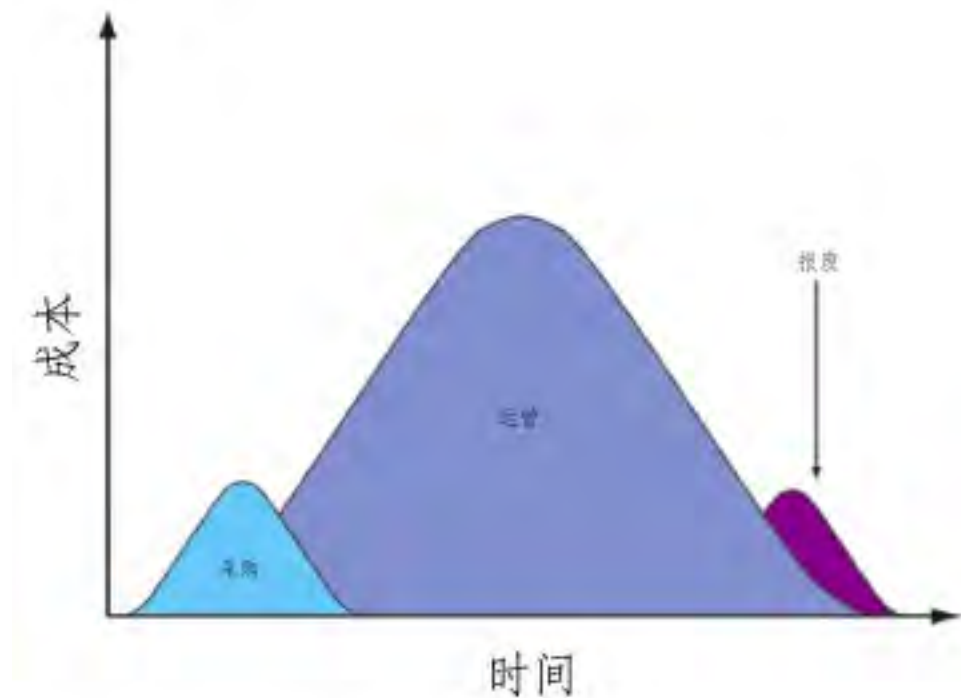
3. 经济



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

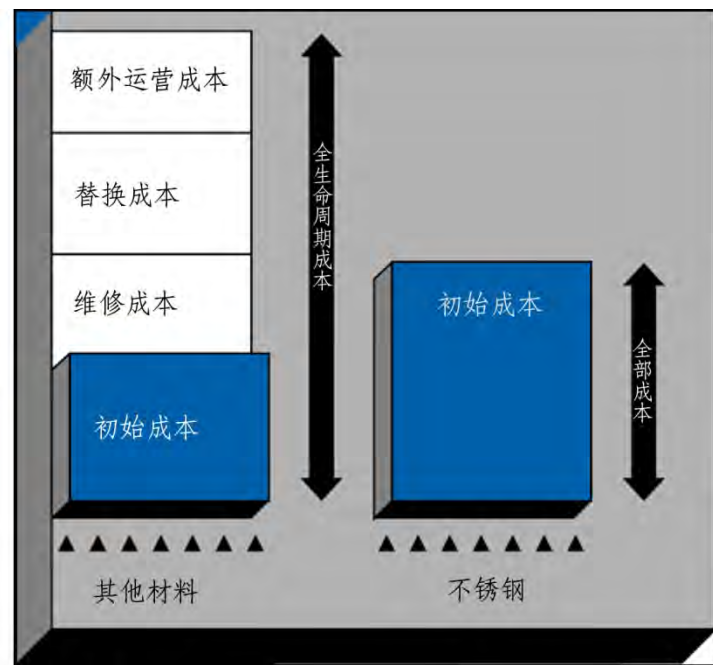
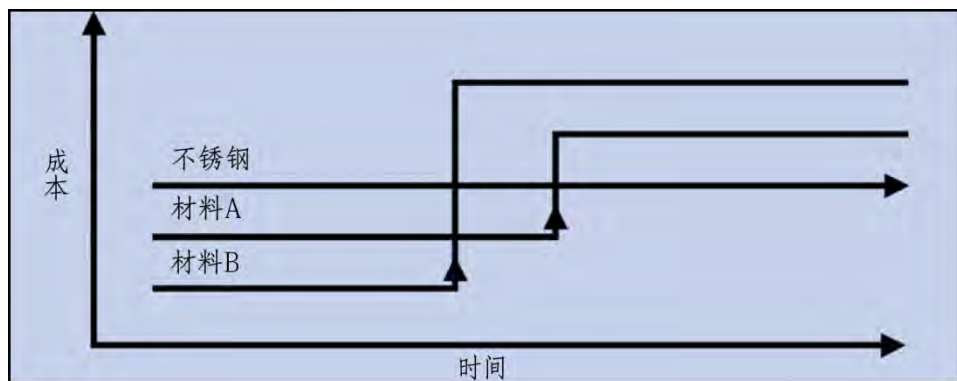
所有成本在叠加之前的当前价值：

| | | | | | |
|---------------|---------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 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

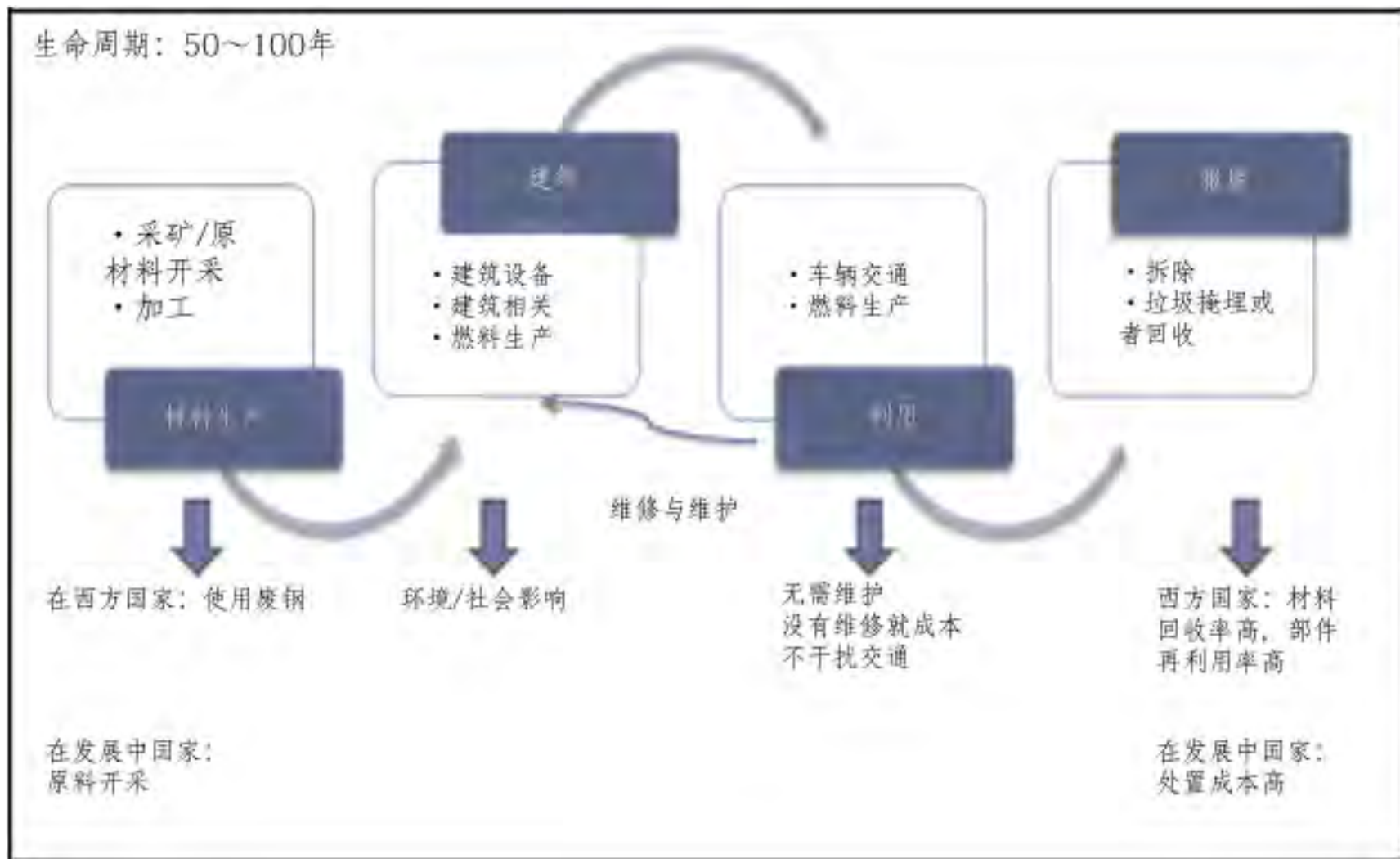
其他材料的成本随时间推移会大幅增长，但不锈钢的成本保持不变。



“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。”

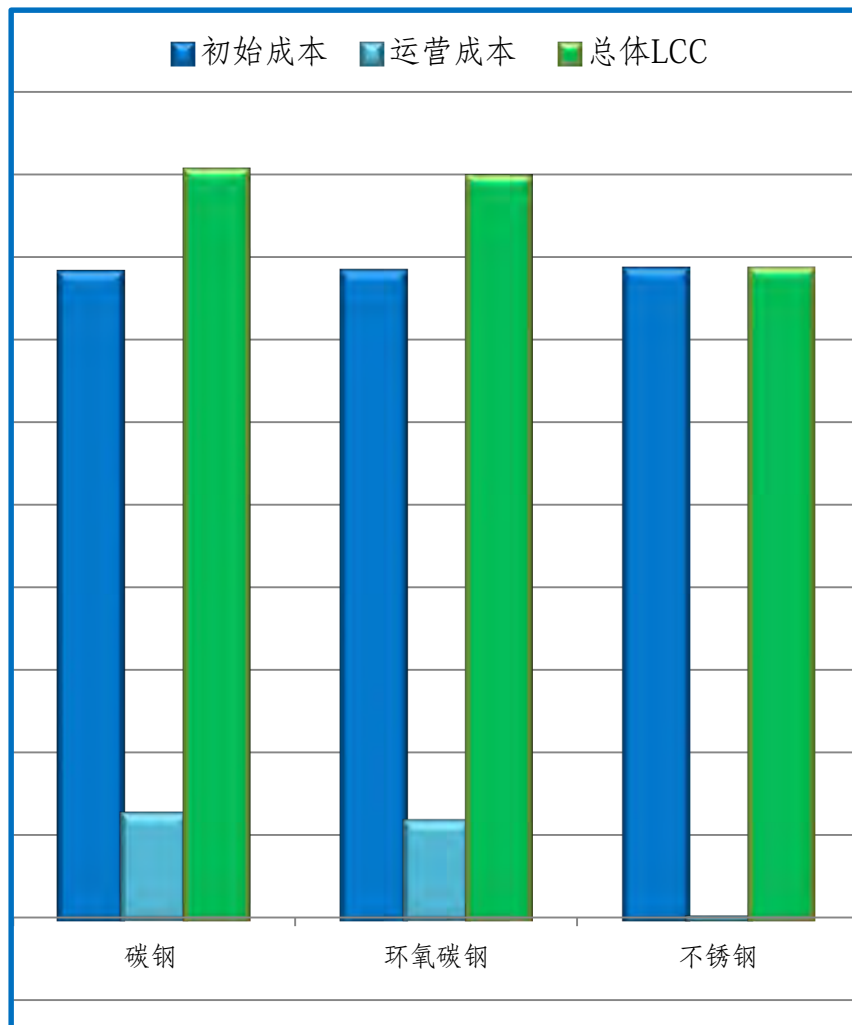
LCC 案例：桥梁

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}



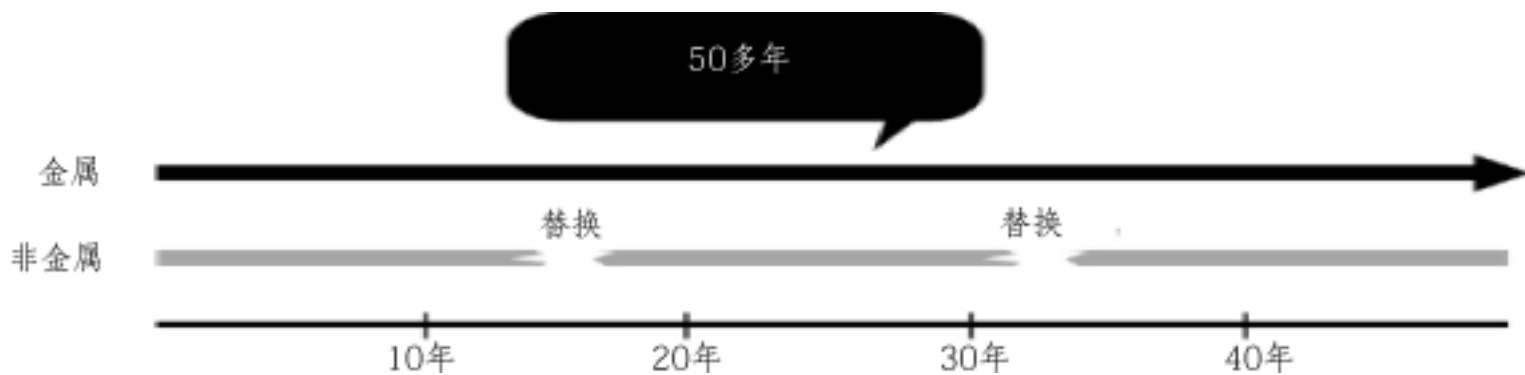
传统的屋面系统，~30 年



金属屋面系统，40-50 年

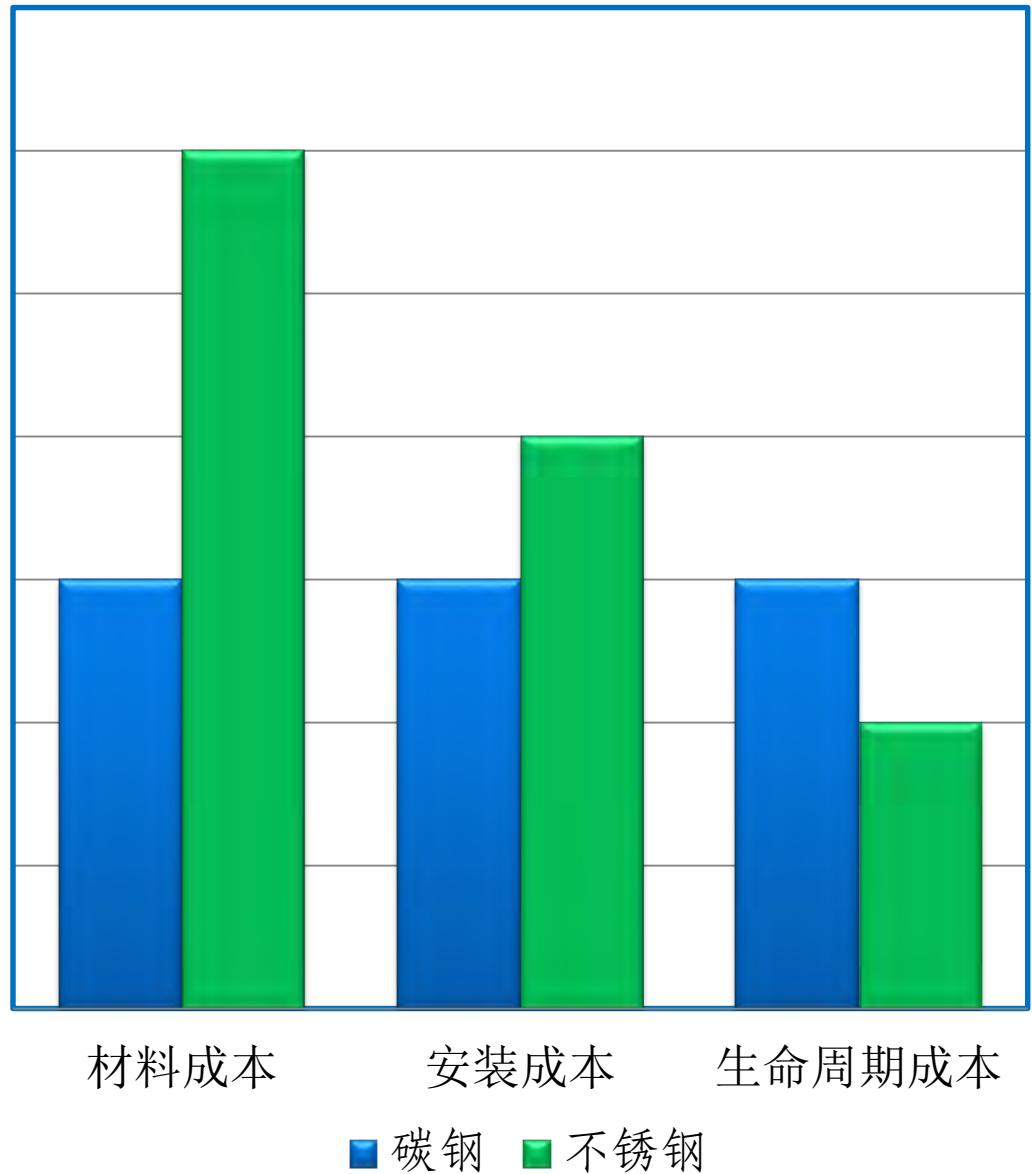


不锈钢屋面系统，超过50 年



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
 - 较低的维护成本
 - 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