

SUSTAINABLE  
STAINLESS



## 不锈钢轨道车辆

公共交通的可持续解决方案

不锈钢轨道车辆  
公共交通的可持续解决方案  
© ISSF 2010年

发行人  
国际不锈钢论坛  
比利时布鲁塞尔1140  
Colonel Bourg街120号

电话: +32 2 702 89 00  
[www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)

ISBN 978-2-930069-59-3

## 前言

目前，在让我们的移动生活方式更具可持续性的努力中，人们越来越看重公共交通的好处。从小轿车到公共交通解决方案（如铁路）的转变，可极大的减少排入大气中的温室气体和其它有毒气体。特别是铁路，可以为我们的持续增长的出行需求提供资源节约和环境友好的解决方案。

利用不锈钢制造轨道车辆，进一步提升了铁路行业的可持续性特点。不锈钢的耐用性和极少的维护要求使它成为一个经济上的最佳选择。节能轻量化设计、高可回收物含量和使用寿命结束时100%的可循环利用能力是不锈钢环保特点的基石。加之不锈钢时尚、明亮的外观，进一步增强了铁路行业的可持续性行业形象。轨道车辆使用不锈钢可作为一个很好的例子，说明应如何从社会、经济和环境等因素综合考虑来选择材料以构成一个可持续的技术方案。



照片：欧洲不锈钢协会（Euro Inox）

# 什么使不锈钢成为可持续材料？

在我们能够确定不锈钢是否是可持续材料之前，我们首先应该明确，与所谓的三重底线——人、地球和利益，相关的“可持续性”指的是什么。

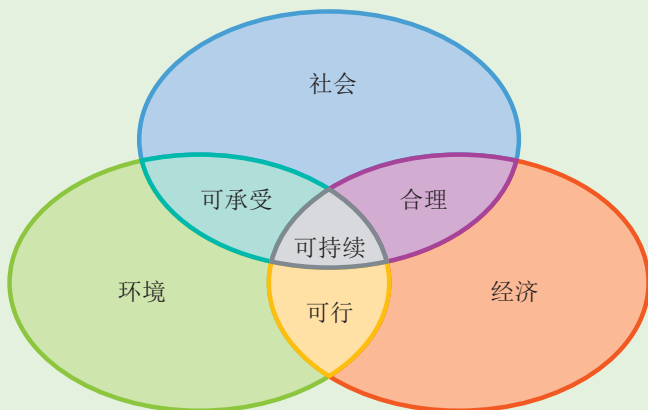
## 1. 人

不锈钢这种材料在其使用或生产过程中不会对人产生影响，特别是健康和安全方面的影响。可持续材料不会伤害生产它的人，也不会伤害在使用、回收和最终处置过程中接触到它的人。不锈钢在其生产及使用过程中对人都是无害的。

因为含有铬，所有不锈钢上都有一层自然形成的保护层。保护层能保护钢材免受腐蚀，保持其长久的使用寿命。只要根据用途选择正确的等级，不锈钢就会保持惰性，不会伤害使用它的人和环境。这些特点使不锈钢成为医疗、食品加工、家用电器和餐饮用具的首选。

## 2. 地球

不锈钢这种材料的排放痕迹已经降到了最少，特别是那些与碳、水、空气相关的排放足迹。其再利用性和可回收性处于很高水平。材料具有低维护成本和长使用寿命，由于满足这两个关键指标，使这种材料对地球的影响处于最低水平成为可能。



资料来源：维基百科

作为制造不锈钢的主要工艺，电弧炉（EAF）的效率非常高。就CO<sub>2</sub>和其它排放物来说，电弧炉对环境的影响很小。电弧炉在加工废弃不锈钢方面的效率也非常高，并能保证新不锈钢的平均可回收物含量超过60%。

不锈钢易于回收，用于生产更多的不锈钢，并且这一过程可以无限持续下去。据估计，大约80%的不锈钢在其使用寿命结束时被回收。不锈钢具有很高的内在价值，无需动用公共资金进行任何经济鼓励就能实现回收和再生。

## 3. 利益

生产不锈钢材料的行业，显示了长期可持续性和增长性，为客户提供了出色的可靠性和质量，并为终端用户保证了稳定和可靠的供应链。

选择使用不锈钢，保证了它将具有低维护成本和长使用寿命，并且在其使用寿命结束时容易回收。它使不锈钢在客户的耐用消费品中（如电冰箱和洗衣机）和生产资料应用中（如运输、化学和工艺应用）成为一种更为经济的选择。与大多数金属相比，不锈钢有更好的机械性能。

它的防火和防腐蚀性使之成为运输、建筑和公共设施（如铁路、地铁、隧道和桥梁）中一个优先选择。这些特性与不锈钢的机械性能一同，在上述应用中最被看重，既能保护人，又能将维护成本保持在低水平。不锈钢还具有符合审美标准的美观外表，因而也成为要求苛刻的建筑设计项目的首选材料。

除了它的可回收性、可再利用性、长使用寿命、低维护成本及产品安全外，与其它任何替代材料相比，不锈钢生产和使用过程中的排放量也是最小的。通过对不锈钢可持续性进行详细和精确的分析，可以确信，使用不锈钢是一种合乎逻辑的选择。这也许是因为随着政府和社会的经济与环境意识的不断增强，不锈钢应用的增长会比世界上的任何其它材料都要快的原因。



# 不锈钢轨道车辆

## 数十年的轨道车辆经验

不锈钢于1912年首次应用。1932年，第一辆全不锈钢轨道车辆由巴德公司在加拿大落基山脉投入使用。落基山脉的极端温度和运行条件使不锈钢得以充分展示其出众的技术特性和对铁路应用的独特适应性。其它铁路公司纷纷效仿，很快把不锈钢引进到他们自己的产品目录中。



先锋者微风号列车，美国，1934年  
(照片：科学工业博物馆，芝加哥)

不锈钢在美国和日本很快成为铁路应用的标准材料，这一趋势一直延续到今天。不锈钢制造技术的新发展和寿命周期成本的重要性日益受重视，使不锈钢一直都是轨道车辆有吸引力的材料，即使在世界上不常使用不锈钢的那些地方也不例外。

## 为什么选择不锈钢？

今天，不锈钢广泛用于铁路领域。区域列车、市郊列车、地铁列车、轻轨列车全部依赖不锈钢解决方案。这些应用的每一项都有其自己的特点，各种机车车辆终生面对的特定运行条件决定了材料选择和设计准则。不锈钢可完美地满足这些准则中的许多准则。



客车设计的各方面因素

凡是有耐腐蚀、耐用性、耐碰撞、防火、易清洗、易维护和美观等关键要求的场合，都应使用不锈钢。

# 不锈钢轨道车辆

## 使用何种不锈钢等级？

尽管市场上有两百多种不锈钢，但在铁路领域获得应用的为数并不多，这几种不锈钢除了优良的技术性能外还易于获得，并且制作简单（见下图）。

## 案例研究1：让我们Tango（探戈）吧

从2008年12月开始，Tango一词出现在瑞士巴塞尔街头，它不是指跳舞的热潮，而是巴塞尔新轻轨的名字。瑞士制造商选择EN1.4589级不锈钢作为Tango的车身。这种不

ASTM	EN	类型	化学成分 (%)	屈服强度 R <sub>p</sub> (Mpa)	延伸率 A <sub>80</sub> (%)	热处理状态
AISI 410	1.4003	铁素体不锈钢	铬12	320	20	退火
S420 35	1.4589	铁素体不锈钢	铬15、镍2、钼、钛	420	16	退火
AISI 301 LN	1.4318	奥氏体不锈钢	铬18、镍7、氮	350	35	退火
AISI 304	1.4301	奥氏体不锈钢	铬18、镍9	230	45	退火
AISI 201	1.4372	奥氏体不锈钢	铬17、钼7、镍5、氮	350	45	退火

4

有些等级的不锈钢（众所周知的奥氏体不锈钢）具有独特性能：在环境温度条件下加工时（被称为冷成形），它们的强度会提高。这种提高的强度可使制造商降低用于轨道车辆车身的预制不锈钢结构的厚度，使车厢重量减轻，从而使运行更加经济。它还能提供优秀的耐碰撞性能。发生事故时，不锈钢能够吸收大量能量，因为变形过程中，在材料强度逐渐增加的同时它能保持足够高水平的延展性，从而可防止脆性断裂。

不锈钢外观独特，经过多年的使用都不会受到腐蚀的影响，可以通过擦光、抛光或花纹装饰等方式定制。各种可能的选择使铁路运营商能够把铁路车辆的长寿命和易维护性与其独特的、鲜明的装饰性结合起来。

## 运营中的不锈钢轨道车辆

今天，不锈钢已在轨道车辆运营中普遍使用。本节，我们只简单看一看当今的某些客运方案。

锈钢含15%的铬、2%的镍、1%的钼和1%的钛，对于巴塞尔要求苛刻的铁路网络而言，是一种理想的方案。

“我们非常明智的选择不锈钢，因为在轨道车辆制造中，这种材料已经完全确立了自己的地位。巴塞尔的轨道条件是坡度很大、弯道很急，因此，对施工和材料提出了最高要求。在这里运行良好的市内有轨电车在世界上的任何地方都会运行良好。”斯塔德勒质量管理部的于尔根·鲁斯说，该公司将在未来几年为巴塞尔市内交通管理局和巴塞尔区域运输股份公司建造总共60辆新的Tango车辆。



Tango轻轨（照片：蒂森克虏伯·尼罗斯塔公司）



正在车间加工制造的Tango轻轨客车

(照片：蒂森克虏伯·尼罗斯塔公司)

每一辆Tango都要喷上漂亮的、代表各个客运公司标志的油漆，”鲁斯解释说。“重要的是，车身材料需有良好的油漆附着力。”为了满足这一要求，喷漆之前，整个车身都要喷砂。

2009年夏天，随着首批四辆轨道车辆上轨运行，项目试验阶段结束。“到目前为止，一切进展顺利，不管是所用的材料，还是Tango整车”，鲁斯说。“一旦试运行结束，我们预计今后会有更多客户，就像Tango的字面意义那样，愉快地跳上这样的列车。”

## 案例研究2：汉堡的下一代地铁

德国汉堡地铁系统的下一代列车将全部采用不锈钢设计。铁路网络运营商汉堡高架铁路股份公司已经订购了27辆DT-5型车辆，交货期限从2009年至2013年。公司还有另外再购买40辆的计划。

汉堡高架铁路股份公司的新DT-5型列车将替代现在的DT-3型。DT-3型列车早在20世纪60年代中期就已投入使用，就像它的前辈DT-2一样，DT-3也在制造中使用了不锈钢。“我们高兴地看到，选用不锈钢，一方面能利用我们长期积累的有益经验，另一方面又能达到面向未来提高客户满意度的目的”，负责汉堡高架铁路股份公司车队维护的约尔格·彼得森说。

2008年7月向公众展示这种新型号的模型时，汉堡高架铁路股份公司就特别强调，合理的材料选择是实现可持续

公共交通的一个关键要素。公司相信，就整车设计所作的环境无害产品声明，包括几乎95%的可回收材料，能够保证可持续资源节约。

彼得森知道，可持续性和成本节约是同等重要的。“我们轨道车辆的设计使用寿命是45年。因此，耐用性和易维护性是寿命周期成本的两个关键因素。”

汉堡距离易北河入海口50公里，是德国的最大港口。北海沿岸气候中较高的卤化物含量以及船只排放的二氧化硫和其它腐蚀性废气，促使汉堡高架铁路股份公司选用经过检验的奥氏体铬镍不锈钢，用作大面积的表面不喷漆的轨道车辆的车身。“不锈钢外表面易于清洗，使昂贵的喷漆作业变得多余”，彼得森说。

“清除涂鸦也要占用大量车身维护成本”，彼得森补充道。用化学溶剂清除涂鸦会使涂层随着时间而退化，但在抛光和擦光的不锈钢表面上，涂鸦不易粘附，更容易清除。不用涂层还意味着裸露的金属表面不会因为紫外线辐射而发生颜色变化，因此再也不必给褪色的表面重新喷漆。

从强度考虑，选用了加工后变硬的不锈钢等级AISI 301 LN (EN 1.43181)。尽管这种不锈钢比重不是特别低(7.9kg/m<sup>3</sup>)，但是，其壁厚可以保持最小值(1.5-2mm)，从而可确保制成的部件与它们的轻金属对应部件处于相同的重量范围。出众的抗疲劳强度使不锈钢成为城市公共交通的很好选择，因为城市交通的加速和减速时间都很短，使运行条件变得特别苛刻。



使用DT-3型列车长期积累的正面经验，确保汉堡高架铁路股份公司的下一代列车选用不锈钢。(照片：汉堡高架铁路股份公司 - Hamburger Hochbahn AG)





下一代汉堡地铁列车模型  
(照片：汉堡高架铁路股份公司)

列车组前部需要采用更复杂的成形作业，用铬含量和镍含量分别是18%和9%的AISI 304 (EN 1.4301) 级不锈钢制造。由于这种不锈钢有出色的成形潜力，列车前部可采用无缝设计。

“与乘客的交流使我们认识到，显露式的不锈钢对我们的形象有着长久而有利的影响”，汉堡高架铁路股份公司首席执行官冈特·埃爾斯特说。不锈钢引发了许多正面联想，包括了卫生、安全、耐用、高雅和价值。如果列车既舒适又有吸引力，人们会更愿意乘坐公共交通。可以感受到的安全和清洁是公众最先考虑的事项。

### 案例研究3： 阿利坎特海岸线含不锈钢的电车

福斯罗集团西班牙公司已经设计了第一辆将在西班牙制造的列车-电车。与其它公共交通模式相比，这种新交通概念快速、高效、污染更小。在阿利坎特开发的这种车辆既满足了列车乘客的要求，又满足了电车乘客的要求。这种列车-电车的最初设计理念就考虑使用新材料，如现代不锈钢。

由于不锈钢适用于该项目的各种不同部件，尤其是内部和结构部件，因此它已经包括在部件的生产加工中。很少有材料具有铁路系统所要求的性能特点。但是，不锈钢

具有所要求的机械特性、可成形性和耐腐蚀性。福斯罗公司材料工程师决定选用不锈钢的主要原因之一是其强大的耐磨性和抗撕裂能力，并且不会丧失其耐用性或审美吸引力。

为满足乘客安全和低能耗（因而低排放）目标，重要的是确定最佳材料配合比。选材用料必须尽可能又薄又轻，并同时确保它们满足使用功能。

由于其内在强度，不锈钢可以比其它材料更薄、更轻，并同时保留其功能的完整性。在列车-电车设计过程中，福斯罗集团西班牙公司考虑了这一特点。

该项目需要一系列等级的不锈钢，已有许多种不锈钢是为铁路行业各种用途而专门开发的。车辆的大部分外部部件都使用不锈钢，既有铁素体不锈钢（如EN 1.4003），也有奥氏体不锈钢（如EN 1.4301，即AISI 304）。

美观、耐用、机械性能和易清洗性扩大了不锈钢的应用范围。福斯罗集团西班牙公司还将不锈钢用于内部设施中的许多部件，带来了设计的现代性，并同时带来了良好的适应性。

不锈钢降低了成本、重量和能耗。这些特性对不锈钢在铁路交通中的成功必不可少，并确保了铁路行业的可持续增长。



阿利坎特的列车-电车站 (照片：福斯罗集团西班牙公司)





靠近阿利坎特海滩的列车-火车站  
(照片：福斯罗集团西班牙公司)

## 案例研究 4： 圆满使用了50多年不锈钢的日本铁路

(Tokyu) 东急车辆制造株式会社，是日本第一家用不锈钢制造产品的轨道车辆制造商，并且促进了这类不锈钢的使用。

1958年，日本首次用不锈钢生产轨道车辆，当时使用的是SUS304型不锈钢。最开始，不锈钢只用于制造一些早期型号的外壳，到1962年才生产了全不锈钢轨道车辆（见下页）。除了SUS304型不锈钢外，还使用了高拉伸强度的SUS301型。

在今天的东急车辆制造株式会社，不锈钢和铝是使用最多的两种材料，很少使用碳钢。东急一年大约生产300 - 400辆轨道车辆，其中90%用不锈钢，余下的10%用铝。据估计，日本每年大约生产1000 - 1200辆不锈钢轨道车辆。

20世纪80年代之前，由于较低的初始成本，碳钢一直是轨道车辆的热门选择。不过，额外的制造工序，如涂覆和形状校正，增加了初始成本和维修维护费用。

自第一种型号在20世纪50年代投入使用以来，建造不锈钢轨道车辆的成本已经大大降低。机器人技术和自动化流程的更广泛使用，意味着不锈钢轨道车辆的价格通常会比其它同类碳钢产品更低。

与铝比较，不锈钢在市郊列车上的优势可以归因于以下几点：

1. 不锈钢轨道车辆不需要涂层，易于维护。铝制轨道车辆通常需要涂层以提高其耐腐蚀性和耐污染性。
2. 人们通常认为，铝制轨道车辆比不锈钢车辆轻。但是，这种优势在轨道车辆上并不明显。为了加固侧面，铝制列车必须采用双层外壳结构。
3. 人们也越来越认识到了不锈钢出色的可回收性。不锈钢轨道车辆通常使用易于重新使用的304和301L型奥氏体不锈钢。即使在回收再利用时，它们的质量也不



列车-电车内部 (照片：福斯罗集团西班牙公司)

会降低。铝制轨道车辆通常用5000、6000和7000系列的铝来制造，这些牌号的铝含有一定数量的铁以保证其刚性，要将它们从一般的铝废料处理流程中分离出来，既费时又费力。如果将它们与其它铝材一起再生，再生的材料就只能用于铝铸件和类似的用途。

轨道车辆的寿命通常估计为30-35年。只要维护得当，在大多数情况下，寿命都可以延长到50年。在20世纪90年代以前，人们一直认为，维修和翻新轨道车辆，从而使其寿命延长10 - 20年是最为经济的选择。但是，多年的经验业已表明：

1. 20年后，辅助装置，包括电气部件，会变得过时，可能无法再买到。
2. 制造技术的进步和节能电气部件的使用，已经减轻了轨道车辆的重量，并大大减少了电力消耗和CO<sub>2</sub>排放（见下表）。
3. 公司已经大大缩减维修队伍，使维修成本变得更高。
4. 曾经，人们认为不锈钢车厢拆卸作业费用太高。但是，现在人们普遍认识到，它不过是一个简单工艺，无需分开废料，无需对废料进行分类。不锈钢废料还可以卖出好价钱。

服务于东京郊区的10辆东急列车的年CO<sub>2</sub>排放量和耗电量

	耗电	CO <sub>2</sub> 排放
老车厢	4.37 百万度	1,398 吨
新车厢	2.65 百万度	848 吨
差值	-1.72 百万度	-550 吨

资料来源：东急株式会社的报告

考虑到这些因素，东急认为，与维修和维护旧车相比，制造新轨道车辆更能有效降低寿命周期成本。东急在向铁路公司提出的建议中宣传了这种做法。公司还利用了



最近的不锈钢市郊列车（东日本旅客铁路公司的E233）（照片：东急车辆制造株式会社）

日本不锈钢协会编制的视频，宣讲不锈钢出色的可回收性。事实证明，在向其它轨道车辆制造商和铁路运营商推介不锈钢优点的教育活动中，东急的建议和日本不锈钢协会的视频起到了很好的作用。

日本最大的铁路公司（JR East）东日本旅客铁路公司对铝和不锈钢轨道车辆进行了寿命周期评估和比较。评估结果促使公司决定市郊列车采用不锈钢车厢。目前的东日本旅客铁路公司车队主要包括采用不锈钢车厢的市郊列车以及采用铝车厢的特快列车和新干线列车（见上图）。

8



日本第一辆全不锈钢轨道车辆（东急7000-系列）  
（照片：东急车辆制造株式会社）



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

# SUSTAINABLE STAINLESS

ISBN 978-2-930069-59-3

