

更换旧铁路桥

瑞典斯德哥尔摩的老城横跨14个岛屿，连接这些岛屿的桥梁处于常年不断地使用之中，如果桥梁因维护而封闭会切断重要的交通动脉。因此，若对这座城市最繁忙的铁路桥——四座索德斯特罗姆桥进行翻修，有一个可使未来几代人免受交通中断的解决方案至关重要。由含钼双相不锈钢建造的新的上部结构将提供足够的强度和耐腐蚀性，设计寿命可超过120年且维护最少。

斯德哥尔摩群岛，就像许多水上定居点一样，如果没有桥梁组成的网络，就无法运作。每天有超过34万人穿行索德斯特罗姆铁路桥。但经过60年的频繁使用，它们需要好好地修缮。2013年当地交通部门查明，虽然地基状况良好，但在轨道下方的碳钢支撑结构严重腐蚀，而且这些桥梁也超过了规定的疲劳寿命。因此，在2017年，开始用2404双相不锈钢替换所有四个老化的碳钢结构。每个索德斯特罗姆桥长192米，由12个预制部分组成。总体而言，新的铁路桥是有史以来最长的不锈钢桥。

结构用双相不锈钢： 不只是美观

双相不锈钢桥梁结构首次面世便因其漂亮的外观而受到赞誉，涌现出新奇的设计如新加坡的双螺旋桥等。

如今设计师们越来越多地看重双相不锈钢美观之外的特性，在很多应用领域甚至是隐蔽应用中，利用其强度和耐腐蚀性能，创造出比过去的碳钢更轻盈的结构，所用的材料和所需的维护也更少。所有的双相不锈钢牌号，其强度至少是316不锈钢的两倍，并具有良好的焊接性能，适用于各类应用。双相不锈钢桥梁结构具有更长的使用寿命和更低的维护要求，因此在世界各地日益受到欢迎。

尽管结构用双相不锈钢已被纳入世界各地的设计规范，但碳钢仍在桥梁建造市场占据主导地位。人们觉得碳钢建造的桥比不锈钢桥便宜，碳钢桥已经存在了一个多世纪，桥梁建造和维修行业对其非常熟悉。相比之下，用双相不锈钢来建造钢桥始于21世纪初，人们普遍认为成本高昂。

▶ 被水面环绕的索德斯特罗姆铁路桥，是斯德哥尔摩市中心交通通勤的一个关键节点，每3分钟就有一列火车通过，每天大约500列。



“低成本解决方案”的实际成本

斯德哥尔摩群岛地处海洋环境，受到入海口咸淡水和冬季除冰盐的双重腐蚀威胁。碳钢桥不具备铬、钼和其他合金元素所带来的抗腐蚀优势，因此必须涂漆或进行其它保护来抵抗这种恶劣的条件。乍一看，用碳钢建造的四个下部结构造价似乎较低，为200万欧元，而双相不锈钢的造价是碳钢的2倍，为400万欧元。但这些数字具有误导性，它们只考虑了最初的制造成本。事实上碳钢结构在其寿命周期内的总体成本要高得多，因为它们每30年需要重新喷漆，在120年的设计寿命中要喷涂三次。重新涂漆和维修成本（不包括铁路关闭带来的间接成本）估计在此期间将达到6000万欧元，是当初材料投资费用的30倍。从整个寿命周期成本来看，采用双相不锈钢，成本可大大降低。

虽然所有钢材都是100%可回收的，但采用双相不锈钢的方案有更低的环境足迹。如果不锈钢选用正确，桥梁结构不会随时间推移而劣化。如果能够遵从规范要求，维护得当，则不锈钢可以实现近乎于无限的预期寿命。它也不需要任何对环境有害的表面处理来防腐蚀。这类涂层或油漆会随着时间的推移而劣化，且剥脱后可能污染环境。涂装桥梁需要定期检查，每隔几年进行一次修补，最终每25-30年彻底清除涂层并重新涂装一次。这听起来简单，但意味着要关闭桥梁，安装脚手架，将桥梁完全包围起来，施涂新涂层前处理表面，捕

获去除掉的油漆碎片，并妥善丢弃旧油漆。这样的维修工作也会给相关人员带来一定的伤害风险。双相不锈钢在很大程度上消除避免了这些潜在的健康和环境成本。

瑞典交通管理局也进行了估计，在120年的时间跨度内，由于碳钢结构维修和维护期间暂时失去了基础设施的便利性，给公众带来的间接成本将再增加30亿欧元。这突显了该地区对这些桥梁的依赖，以及因维护和维修而关闭所造成的巨大中断。

建造和安装

索德斯特罗姆大桥采用2404双相不锈钢建成，这是用此牌号不锈钢设计的第一座桥梁。这个不锈钢含有1.6%的钼，对其耐缝隙腐蚀和耐点蚀能力贡献很大。事实上，2404双相不锈钢不仅屈服强度是316不锈钢的两倍，而且耐大气腐蚀性能也提高了。

由于在大型结构应用中采用不锈钢是一种相对较新的做法，钢厂通常不会像碳钢产品那样生产标准尺寸的工字钢。但是，大规模生产的工字钢往往用料数量多于所必要的量。定制化使工程师和设计师可指定所需的准确截面尺寸，从而节省不必要的金属。因此，索德斯特罗姆桥上的每一部分都是根据群岛咸淡水的环境条件量身定制的。

在车间手工焊接预制桥段



海上吊车将桥梁部分从驳船上吊起并安装到位





新的轨道安装在离运行中的列车仅几米远的地方

一米高的工字钢是在奥托昆普的板材服务中心制造的。将工件从板材上用水射流切割下来，进行埋弧焊，然后酸洗。随后，Stal & Rormontage公司采用手工TIG/MIG焊接预制工字梁桥段。48个桥段的长度从16米到24米不等，重达18吨，用驳船运到现场并安装。为了最大限度地减少中断，桥梁被逐一更换，通勤者被安排到备用维修轨道上。更换每座桥的12个部分需要两周时间，晚上拆除旧结构，白天焊接新结构。新桥段总计使用了600吨2404双相不锈钢，令人印象深刻。

随着更换工作在2021年完成，斯德哥尔摩交通最繁忙的铁路沿线的活动已经恢复正常。瑞典这项巨大的修复工程并不是唯一的，因为世界各地的许多桥梁都正在接近其使用寿命。索德斯特罗姆桥采用双相不锈钢的前瞻性设计突显了在沿海地区或使用除冰盐的地区，采用结构用不锈钢建造桥梁的好处。为了有利于环境，以及依赖这些基础设施的人们的利益，在世界各地迫切需要的基础设施升级改造和新建工程中，含钼双相不锈钢会发挥越来越大的作用。(Karlee Williston)