

钼，让世界 持续发展



前言	3
自然和生物的可持续发展	4
独特性能	5
能源效率	6
遮阳	6
简明案例分析——联邦政府大楼	7
汽车	8
发电	8
简明案例分析——超临界和超超临界发电厂	9
详细案例分析——福特蒙迪欧B柱案例	10
低碳发电	12
水力发电	12
风力发电	13
太阳能发电	14
简明案例分析——光伏薄膜太阳能板	15
环境保护	16
烟气脱硫 (FGD)	16
燃料脱硫	17
详细案例分析——使用钼基催化剂对柴油燃料进行加氢脱硫	18
资源保护	20
建筑	20
回收利用	21
详细案例分析——麦丽斯塔大桥 (Myllysilta Bridge)	22
关系民生	24
医学影像	24
农业	24
简明案例分析——植物微量营养素	25
支架	26
海水淡化厂	26
简明案例分析——海水淡化厂	27

钼，让世界持续发展

2015年第一版
© IMO A 2015
ISBN 978-1-907470-36-3

英国伦敦国际钼协 (IMO A) 出版
www.imoa.info info@imoa.info

设计：德国慕尼黑circa drei

国际钼协 (IMO A) 尽力保证本刊内容学术上的正确性。但是，国际钼协没有表示或承诺本刊物所含信息的准确性，或其对一般或特定用途的适用性。本刊物仅供读者参考，不可生搬硬套。未得到专家建议之前，不得用于任何特定或一般应用，也不能以此为依据。国际钼协及其成员、员工和顾问特此声明：对任何使用本出版物中的信息造成的损失或伤害，不承担任何责任。本出版物主要依据ASTM和EN国际标准，然而，各国的材料规范可能有所不同。

图片来源：iStockphoto.com/bo1982 (封面)，iStockphoto.com/PhotoInc (第3页)，shutterstock.com/Oliver Sved (第4页)，iStockphoto.com/Michael Knudsen (第5页左图)，Steffian Bradley Architects (第6页)，Iwan Baan (第7页)，Scania CV AB (第8页)，wikipedia commons/Dergenaue/CC-BY-SA-2.0-DE (第9页)，iStockphoto.com/fotoember (第12页左图)，Wikipedia commons/user:wutzofanti (第12页右图)，iStockphoto.com/Rebell (第13页)，Manz AG (第14页)，PVTech (第15页)，John Grocki of Advantage-Resources Consulting (第16页)，Haldor Topsøe (第17页上图)，TonyV3112/shutterstock.com (第17页下图)，rob245-fotolia (第18页)，iStockphoto.com/espigle (第20页)，Cronimet (第21页)，Esko Keskioja (第22页)，Zephyr/Science photo library (第24页)，Linleo-fotolia (第25页)，medmovie.com (第26页)，IDE Technologies (第27页)

前言

联合国“政府间气候变化专门委员会（IPCC）”得出的结论持续显示，人类活动产生的二氧化碳和其他温室气体（GHGs）浓度不断上升，从而导致全球变暖。人们普遍认为，全球平均气温上升引发了气候变化，如果不减少温室气体排放，未来气候变化将会更加剧烈。

据预测，未来25年间，全球能源需求将增长三分之一以上。2013年，全球人口突破七十亿，自然资源压力更为明显。人类的现代生活方式对环境造成了前所未有的严峻挑战。

“可持续发展”意为，从当代及子孙后代的利益出发，以保护环境为前提，利用地球资源、满足人类需求。人们普遍认同，可持续发展的三大支柱是生态、经济和社会。生态指标考量影响，如环境质量、资源消耗、回收利用、能效和生产；经济指标考量成本，如供应链、生命周期和材料性能；社会指标考量贡献，如健康、安全、幸福。



ECOLOGY



ECONOMY



SOCIETY

钼（Mo）常常被添加到其他材料当中，一般情况下，添加量非常小，但是却能极大地改变终端产品的性能。“以少获多”这种表述展示了钼通过多种方式可持续发展做出贡献，以及钼是如何以金属、合金元素和化工原料等角色为现代社会、环境和经济创造价值。



自然与生物的可持续发展

18世纪人类首次发现钼元素。钼是一种天然元素，存在于地壳和人体之中。其实，钼是人类、动物和植物所必需的元素。

钼能够激活人体中的抗氧化酶，帮助消除致病自由基。同时，钼也会作用于具有废物清除调节功能的酶，帮助代谢毒素和消化产生的副产品。在维系人类生存的能量合成的生化过程中，钼也发挥着至关重要的作用。

动物体内的氨基酸新陈代谢和其他酶的合成都需要钼。对于某些动物来说，饮食中添加钼元素可以起到促进生长的作用。

植物生长所需的两种主要酶的合成都需要钼，在“固定”土壤和空气中的氮制造氨基酸、蛋白质、叶绿素的过程中，这两种酶发挥着关键作用。有些土壤需要补充钼元素才能让植物健康生长，使农作物产量提高60%。



钼是植物生长、人类和动物新陈代谢所必需的微量元素。

独特属性

钼的独特属性使其具有了可持续发展的关键要素。



对于低合金钢而言，钼能够提高其强度和硬度，保持金属韧性，并增加高温强度。强化钢是轻量化应用的理想材料，例如设计低油耗轿车和卡车。对于管道、桥梁和建筑物而言，质量更轻、强度更高的钢构件不仅节省材料，还可以降低生产、运输和制作过程中的能耗。硬度提高后可以增强高磨损件的耐用程度并延长寿命，使机器和工具的关键部件更加经久耐用。

对于不锈钢而言，钼能够增强耐蚀性，延长不锈钢在建筑、加工、发电、水处理、供水及其他领域多种应用中的使用寿命。对于镍基合金而言，钼能够提高高温强度和耐蚀性，使化石燃料发电厂在更高的温度和压力下运行，大大提高效率，减少碳排放。

钼还可用于多种化工制品和催化剂，包括在低硫汽车燃料生产中的应用。

能源效率

据预测，未来25年，全球能源需求将增长三分之一以上。全球约25%的温室气体排放来源于发电。在大幅持续降低温室气体排放，应对气候变化的同时，必须采用全新方式提高能源利用率，才有可能接近能源需求的目标值。

遮阳

很多建筑的能耗主要来源于空调。遮阳装置是阻挡太阳光热量的有效途径之一，从而减少甚至完全取消空调。某些牌号的含钼不锈钢是制作遮阳装置的理想材料，耐蚀，低维护而且使用寿命长久，即使在沿海或易污染的工业和城镇环境也不例外。

为了使能耗大幅低于传统办公楼，美国旧金山联邦政府大楼采用超低能耗设计理念，大楼的“皮肤”由316含钼不锈钢遮阳板构成，并与一套自然通风降温控制系统相连。因此，联邦政府大楼的能耗仅为加州普通办公楼的三分之一。

中国广州市儿童活动中心（下图）同样采用了316不锈钢曲面无缝遮阳装置。网眼式遮阳板固定在轻型支撑框架上，最大程度地利用了自然光，公共区域无需安装空调。



简明案例分析

联邦政府大楼

当时，美国政府总务署提出的要求是，旧金山新联邦政府大楼的能耗应大幅低于传统办公楼，且设计使用寿命须超过100年。

空调是抵消太阳光热量的传统办法，大幅增加了建筑的整体能耗。当时，联邦政府大楼的设计师与热性能专家共同决定采用遮阳装置阻挡热量。为了增强遮阳装置的耐蚀性，采用了316含钼不锈钢。

该大楼只有底部少数楼层安装了空调，其他楼层则采用自然通风散热，综合控制系统可根据环境状况开闭窗口和通风口，调整遮阳板的位置。

因此，该建筑能耗仅为传统办公楼的三分之一。

含钼不锈钢的性能为建筑物达到百年设计寿命和低维护提供了保障，完全可以承受沿海、城镇等易腐蚀环境。



ECOLOGY



ECONOMY



SOCIETY

如需详细了解，请访问国际钼协（IMOA）网站可持续发展栏目阅读完整的案例分析：
http://www.imoa.info/download_files/sustainability/IMOA_Federal_13.pdf





含钼高强度钢使轿车和卡车的车身重量更轻，更省油

汽车

全球20%的二氧化碳排放来源于汽车，道路交通也由此成为温室气体减排的重要对象。车身减重100千克，每100公里可节省0.1至0.5升燃油，相当于每公里行程减排8至12克的二氧化碳。

在车身和底盘中，高强度钢（HSS）已逐渐取代低碳钢，减重幅度可达20-25%。超级高强度钢有可能在此基础上再减重20%。含钼钢具有超高的强度和良好的成型性能。在所有适用的合金元素中，钼的单位效果（按添加重量计）最好，同时对镀锌没有副作用。钼还能为日益普及的压制硬化钢带来优越的淬硬性，提升部件的碰撞性能。

发电

据预测，截止2030年，火力发电量将占到全球发电量的一半左右。每发一度电，火电厂排放的二氧化碳最多。因此，火电厂减排是环保工作的重中之重。

通过提高煤的燃烧温度，增加热动力效率，降低二氧化碳排放。但是，只有使用正确的材料才能实现更高的锅炉温度。否则，高温蠕变将导致部件变形和过早损坏，化石燃料锅炉内的强腐蚀环境也对材料提出挑战。

含钼的镍基合金具备足够的抗高温蠕变强度和优越的耐蒸汽侧氧化能力，使电厂能够在更高的温度和压力下运行，获得更高的效率，实现资源节约和二氧化碳减排。

简明案例分析

超临界和超超临界发电厂

根据作业温度和压力，发电厂可分为亚临界、超临界和超超临界（USC）。大部分火电厂都属于亚临界，效率不足35%。一些超临界电厂和第一代超超临界电厂的效率可达45%左右，而未来作业温度在700°C甚至更高的电厂，效率预计可达50%。

只有采用耐热变形材料才能实现升温作业。含钼铁素体钢普遍用于亚临界条件，可以保证500°C以下所需的强度。钼含量较高的贝氏体钢和

马氏体钢适用于650°C以下。当温度超过700°C，只有含镍和钼的特种“超级合金”才能在燃烧过程中具有足够的强度、抗氧化性和耐腐蚀性。

如果全球发电厂的平均效率能从35%提高至50%，预计二氧化碳排放将降低40%。钼是一种必需的合金成分，能够助力未来的超超临界发电站达到这种效率水平。



ECOLOGY



ECONOMY



SOCIETY

如需了解详细内容，请访问国际钼协（IMOA）网站可持续发展栏目阅读完整的案例分析：

http://www.imoa.info/download_files/sustainability/IMOA_Supercritical_and_Ultra-supercritical_Power_Plants.pdf

含钼耐热钢和含钼镍合金能够承受化石燃料发电的超高燃烧温度，提高电厂效率，降低碳排放。

详细案例分析

福特蒙迪欧B柱案例

挑战

过去二十年中，人们对汽车的环保要求越来越高，汽车厂商承受的环保压力不断增加。据欧盟测算，该地区约五分之一的温室气体来自于道路交通。中国作为全球最大的汽车市场，出于对城市空气污染的担忧，近两年引入了力度较大的管控措施，采用了等同于欧IV的排放标准。同时，对燃油效率的关注日益加强。

解决办法

减轻车身重量，或称“轻量化”，是提高燃油效率、降低排放的一条有效途径。“先进高强度钢（AHSS）”是更高的合金成分和先进生产技术相结合的产物，重量更轻，强度和抗碰撞性能丝毫未减。

钼的作用

很多牌号的先进高强度钢均添加了合金元素钼。钼在减轻汽车部件重量、提升强度方面发挥了重要作用，同时具备良好的性价比。

B柱的重新设计

汽车B柱是整个车身最关键的部件之一，在车辆受到侧面碰撞时，B柱要起到保护司乘人员、保持车身结构整体性的作用，如图1所示。

在设计新一代蒙迪欧车型时，福特的研发团队立志要生产出同级别车型安全性领先的轻量车架。该车型B柱由压力强化硼钢改为液压成型的DP800和DP1000复合双相钢，钼平均含量分别为0.18%和0.33%，重量减轻了4千克。

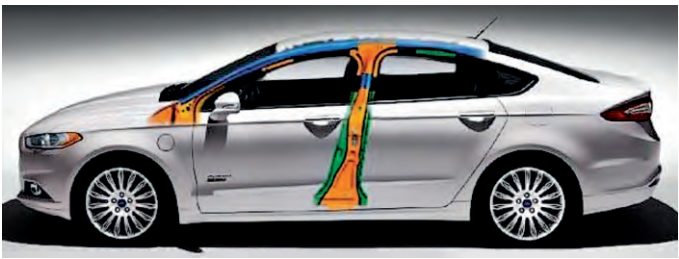


图1：图中突出显示部分为福特蒙迪欧A柱/车顶纵梁及B柱：发生侧面碰撞时，B柱发挥决定性的保护作用（图片由福特公司提供）。

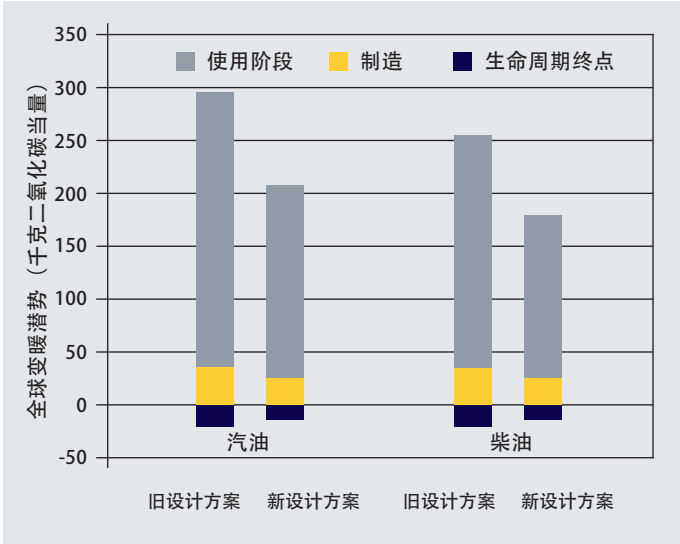


图2：B柱在生命周期内的GWP表现。柴油及汽油动力总成的结果均有显示。

效益评估

若要对新旧B柱的环保性能进行比较评估，必须考虑该部件从生产制造到车辆使用直至生命周期终点的整个生命周期。

生命周期评估（LCA）可以测算整个生命周期对环境产生的影响。这里就用LCA来分析新旧两种B柱。整个生命周期被划分为四大生命阶段：炼钢铸造；轧钢、精整和成型；车辆使用；生命周期终点。

数据和假设

LCA模型开发过程中采用了多项行业数据。根据技术图纸，新B柱成分约为76%的DP800和24%的DP1000。各钢种的成分信息来源于钢厂提供的数据，耗油量根据欧洲汽车行业通行的节油值（FRV）估算。研究假设，汽车在整个生命周期的行驶里程为20万公里。

利用世界钢铁数据集计算生命周期终点回收利用对整体环保产生的效益/负担。与合金、材料、燃油相关的背景数据集来源于PE INTERNATIONAL（现名“thinkstep”）开发的GaBi数据库。

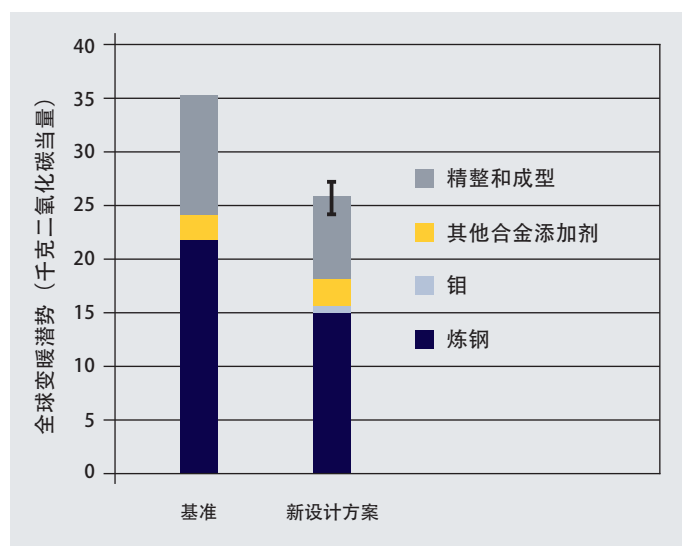


图3：两种B柱在制造过程中的GWP表现，误差条形图显示了新设计液压成型造成的影响存在不确定性。

环境评估结果

对车辆B柱整个生命周期的评估结果显示，在所有环保指标中，新B柱的影响都较低。图2所示为B柱的全球变暖潜势（GWP），由此看出，新B柱的GWP数值大幅降低。

图中显示，生命周期终点钢材回收为得分项，数值为负，处于X轴下方。这表明下一个生命周期对于环境影响将减少，原因是钢铁生产所需的原生材料将减少。

图3所示为制造过程的GWP以及钼和其他合金元素的贡献。其他的评估指标也显示出类似的结果，即新设计无论在何种情况下，对环境的影响均较小。鉴于液压成型工艺的影响尚待估算，图中的误差条形图显示精整和成型的影响可能有±20%的波动。

总结和结论

汽车部件在生命周期内的特定环保指标评估显示，DP800/DP1000液压成型B柱对环境的影响显著低于硼钢B柱。

重量减轻4千克，使用阶段对环境的影响明显减少，从而显示出两种部件在环境影响方面的差异。当行驶总里程超过20万公里，福特蒙迪欧 B柱的GWP分别下降了165千克二氧化碳当量（汽油动力总成）和141千克二氧化碳当量（柴油动力总成），相当于行驶1000公里以上的排放量。

单就生产过程产生的环境影响而言，使用钼等合金元素造成排放量略微上升，但炼铁和二次精炼阶段的减排量远甚于它。

尤为重要，B柱的防碰撞性能得到改善的同时，环保性能也得到提升（如图4所示）。福特公司预计新设计方案将显著降低成本。

本研究的总体结果显示，改用DP800/DP1000新型B柱能够提升环境、经济和社会效益，它们是可持续发展的三大主体。本研究同时指出了先进高强度钢（AHSS）和创新制造技术产生的潜在效益，并且证明了钼在其中的作用，对今后的类似创新具有借鉴意义。

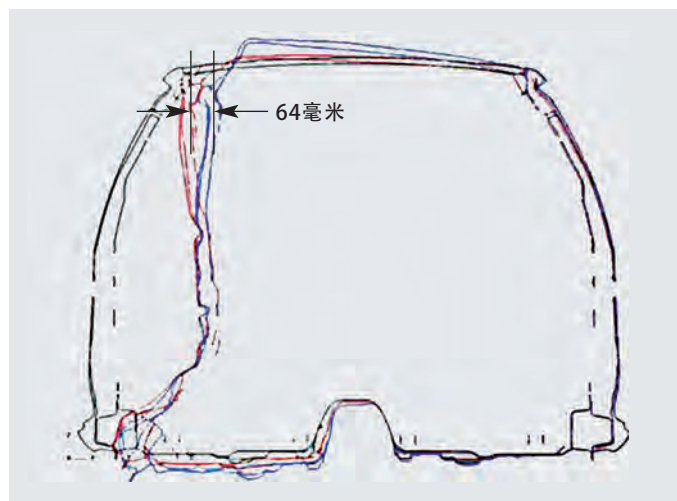


图4：福特蒙迪欧车型B柱碰撞性能：侧面碰撞时，新型B柱（红色部分）可能减少车厢顶部塌陷（图片由福特公司提供）。

如需详细了解，请访问国际钼协（IMOA）网站可持续发展栏目阅读完整的案例分析：
http://www.imoa.info/download_files/sustainability/IMOA_Automotive-Case-Study.pdf

低碳发电

应对气候变化，需要持续大幅降低温室气体排放，大约25%的温室气体是发电厂排放的。据预测，未来25年，能源需求将增长三分之一以上，必须大力发展低碳和零碳发电。钼已经为多项可再生技术做出了突出贡献。

水力发电

水电是使用最广泛的可再生资源，占全球总电力需求的16%。高强度钢（HSS）可用于生产管壁更薄，内径更大的引水管道（将上游水源输送至涡轮机的超大直径管道），从而提高输送效率。使用强度较高的钢种不仅省料，还能减少焊接量，节省运输和施工所需的能源。高牌号高强度钢添加钼元素后，屈服强度更高，韧性和淬硬性保持不变。

伊泰普（Itaipu）水电站位于巴西和巴拉圭边境，有20根引水管道，内径10.5米，每根重883吨。伊泰普水电站年发电量接近100太瓦，与火力发电相比，每年减排二氧化碳约6700万吨。





含钼钢普遍用于经常性维护或更换难度大、危险或成本高的高磨损环境

风力发电

截止2014年底，全球风电装机量达369千兆瓦，占全球总发电量的3%。在所有的发电形式中，风电使用钢材最多，按照目前的设计，每兆瓦装机量要使用300公吨左右。

实际上，考虑到硬度、耐用性和轻量化的需要，大部分商业风电涡轮机中的齿轮、轴承、转轴全部由含钼工程钢制成。典型机组的机舱重量达400吨，且安装在100米高的支架上。要想提高性能，就要加大部件尺寸，因此轻量化一直是一个重要课题，采用较薄的钼合金钢外壳和支撑框架可减重20-40%。

另外一个重要因素是齿轮的耐磨损性，这一点在机组尺寸增大时尤为突出。大型机组的部件承受的压力更大，因此会造成材料过早损坏。对含钼钢进行表面硬化处理，可以改善材料性能，减少停机时间，降低更换成本，这对海上机组非常重要。



钼是下一代薄膜光伏板的重要组成部分

太阳能发电

地球表面每平方米平均持续接收1000瓦太阳能，这些能量可以转化成电能。自20世纪末以来，非化石能源占全球能源总量的比例一直稳步上升，预计到2050年，这个比例将达到50%，其中太阳能发电的增幅尤为迅速。

太阳能发电仅消耗日光，因此是一种可持续资源。太阳能发电高峰和用电高峰自然重合，由此降低了基本负载发电的总需求量，基本负载发电常使用化石燃料。

与以往刚性硅板不同，现代薄膜光伏板拥有制造、成本和设计灵活的优势。在这些快速发展的技术中，钼扮演着重要的角色，是薄膜板背电极的金属材料之一（甚至是唯一的金属材料）。

简明案例分析 薄膜光伏 太阳能板

相比传统的晶体硅阵列设计，现代薄膜光伏板（TFPV）的生产工艺更简单，造价更低廉。TFPV板背电极使用了钼，因为钼能够耐受生产过程的高温，以及其他制造材料产生的高温腐蚀。

添加钼还能提高太阳能转化为电能效率。在所有技术中，使用CIGs或CdTe为吸收材料的光伏板的能源回报期最短，大约为0.9-1.5年。

如需详细了解，请访问国际钼协（IMOA）网站可持续发展栏目阅读完整的案例分析：
http://www.imoa.info/download_files/sustainability/IMOA_solar_15.pdf



ECOLOGY



ECONOMY



SOCIETY



环境保护

火力发电和交通运输所排放的二氧化硫（SO₂）导致酸雨，对环境造成长期破坏。在现有的防治二氧化硫的环保技术中，钼发挥着关键作用。

烟气脱硫（FGD）

火电厂最常用的烟气脱硫工艺为石灰石-石膏湿法脱硫，用碳酸钙中和二氧化硫和其他酸性烟气。由于洗涤器内的化学反应侵蚀性非常强，因此需要使用耐腐蚀材料或增加保护层。以往使用的碳钢吸收装置采用非金属内衬，但用不了多久就失效。现代脱硫装置由两种材料建造，一种是含钼不锈钢，另一种是含钼不锈钢和碳钢的复合板，关键部位增加耐蚀性更强的镍基合金衬层。



耐蚀不锈钢和镍基合金对保护环境防止酸雨侵袭起到了关键作用



用钼基催化剂对汽车燃料进行脱硫处理

燃料脱硫

为了达到日益严格的排放标准，所有车辆均装有可进一步降低环境污染的催化转化器。为了避免损坏汽车的催化转化器，炼油厂要对车用汽油和柴油中的硫化物进行脱硫处理。催化加氢脱硫是在钼基催化剂的作用下，使硫与氢发生化学反应，从而达到脱硫的目的。原油含硫量越高，催化剂的作用越重要。



使用钼基催化剂对柴油进行加氢脱硫处理

挑战

含有机硫的柴油燃烧时会生产二氧化硫，导致大气酸化，是酸雨的成因之一。二氧化硫还会导致或加重呼吸道疾病。另外，二氧化硫会对消除尾气中的一氧化碳、氮氧化合物和碳氢化合物的催化转化器造成损坏。

解决办法

早在20世纪60年代，人们就开始探索柴油脱硫的方法。到20世纪80年代末，柴油硫含量普遍为2000-3000ppm。1993年，欧盟颁布了首个乘用车柴油硫含量排放标准，即“欧I”，将硫含量限定为2000ppm。随后不断下调，2009年降至当前的10ppm，即超低硫柴油（ULSD）。

钼的作用

硫含量快速降低应归功于加氢脱硫工艺创新。脱硫需要使用钼基催化剂。在炼油过程中，该催化剂能够提高氢与碳氢化合物原料中有机硫的反应速率。催化剂在加氢脱硫装置中使用两年后，要进行再生处理，经过再生处理的催化剂可以再使用两个周期，然后回收利用。

PE International（现名thinkstep）利用生命周期评估（LCA），比较了1993年欧I标准的2000ppm柴油和当前欧V标准的10ppm柴油的燃烧影响，并对深度脱硫处理的额外影响进行了量化。



乘用车尾气。汽车是主要的排放源，从而导致烟雾和城区空气质量下降。

效益评估

采用LCA对两种燃油在整个生命周期内的环境影响进行了评估。建立了六个生命周期阶段的详细模型，即：原油提炼至脱硫装置的柴油生产，催化剂制造，加氢脱硫，催化剂再生，催化剂在生命周期终点的回收，乘用车消耗柴油（使用阶段）。

对六项环境影响进行了评估：酸化潜势，全球变暖潜势，烟雾形成潜势，颗粒物/可吸入无机物，富营养化潜势，主要能源用量。

数据和假设

催化剂生产

钼基催化剂生产的关键数据由工业催化剂生产领军企业托普索公司（Haldor Topsøe）提供。1993和2013年催化剂生产模型主要使用2013年的数据。与合金、材料和燃料相关的上游数据从GaBi数据库获取，该数据库由PE INTERNATIONAL开发并维护。

加氢脱硫

1993-2013年间，催化剂的改良和设备效率的提高抵消了所有能耗增值（原因是脱硫效率提高）。因此，假设生产两种燃料的设备能耗相同。模型同样假设生产柴油的其他炼油工艺不变。

再生和回收利用

催化剂再生模型数据来源于催化剂生产厂家。催化剂共使用了2.5个周期，每个周期时长为两年，并且每个周期结束后进行了一次再生处理。回收利用避免了原生三氧化钼、钴、和镍的生产，这一部分效益已计算在内。

使用阶段

过去二十年中，柴油汽车的排放已大有改善。为了排除燃料以外汽车性能提升的影响，以一辆普通的中型欧V柴油乘用车比较两种情况。

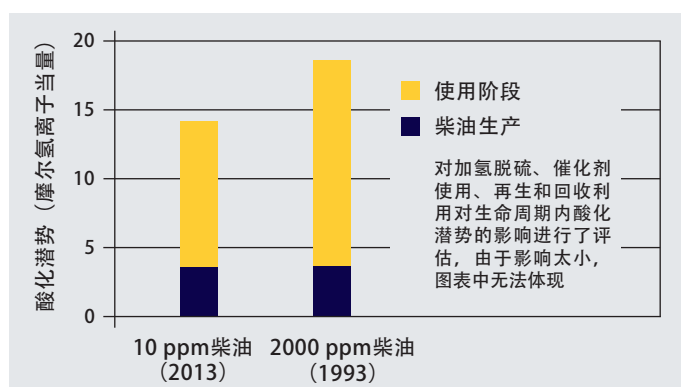
环境评估结果

整个生命周期的结果显示，在酸化、烟雾形成潜势和颗粒物/可吸入无机物方面，超低硫柴油的影响低于2000ppm柴油的影响。其他三个影响指标无明显变化，原因是二氧化硫的排放对这些指标无影响。



酸化潜势

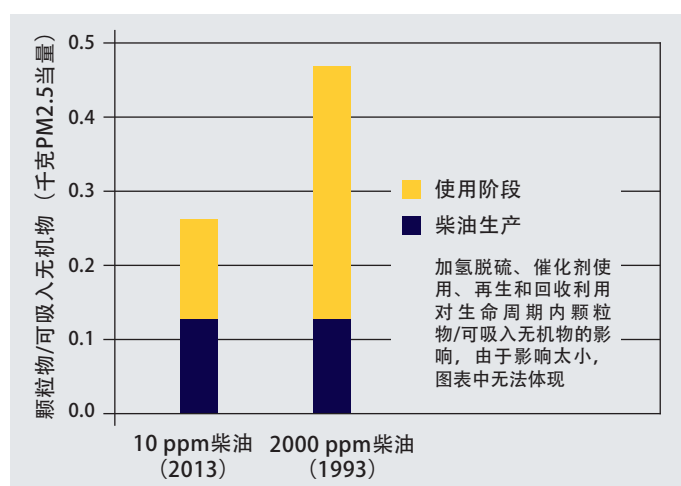
10ppm柴油的酸化潜势降低了24%。加氢脱硫对于整体影响的贡献仅为0.3%，催化剂对整体酸化影响的贡献仅为0.06%。



10ppm和2000ppm柴油在生命周期内的酸化影响

颗粒物/可吸入无机物

10ppm柴油对颗粒物的影响为44%，低于2000ppm柴油的影响。影响这个指标的主要是使用阶段和柴油生产工艺，而不是加氢脱硫。



10ppm和2000ppm柴油在生命周期内对颗粒物/可吸入无机物的影响

全球变暖潜势 (GWP)

两种燃料的GWP影响几乎相同。加氢脱硫占整体影响的0.7%，而其中仅0.005%是由催化剂造成的。

讨论和敏感性

为测试结果的敏感性，脱硫消耗的燃料和电力按翻倍计算，结果显示，对环境产生的影响从0.03%升至0.08%，尽管这样，所有指标依然显著低于使用低硫柴油的降幅。

值得注意的是，过去二十年间，柴油汽车的排放得到了很大改善。按照生命周期内行程20万公里计算，欧I和欧V的对比结果显示，GWP、富营养化、原生能源需求量指标改善了至少17%，酸化指标改善了75%，颗粒物/可吸入无机物影响的降低值是原来的十倍。为了排除车辆改进对结果的影响，以一辆欧V标准的中型柴油乘用车比较两种情况。

超低硫柴油被指燃油效率降低了1-2%，但一项欧盟分析显示，从50ppm换至10ppm柴油时，新车型的燃油效率提高了2-3%。本研究未考虑此项效益或其他二级效益，如一氧化碳/氮氧化物减排。

总结和结论

柴油燃料加氢脱硫能够十分显著地降低道路用车的二氧化硫排放。根据欧盟2011年的需求计算，使用10ppm柴油每年能减少75.4万吨（2.87亿立方米）二氧化硫排放。虽然道路用车柴油需求在过去20年间翻了一番，但二氧化硫排放量较1993年下降了100倍。

非常重要的一点是，生产10ppm柴油需要的催化剂及其再生处理并未使LCA的任何指标真正升高。整体而言，在所有项目中，加氢脱硫占总体影响的比例低于1%。

从社会角度来看，城市空气质量大幅改善，减少了酸雨的形成，保护了脆弱的自然环境。美国环保局的一项研究显示，降低燃料中的硫含量可以大大减少可能造成过早死亡的呼吸系统疾病。另外一个好处是减轻对城市历史建筑的损毁，20世纪最后几十年中，很多历史建筑被酸雨严重毁坏。

总而言之，结果显示，过去二十年间，加氢脱硫对环境做出了重要贡献，含钼催化剂在其中发挥了重要作用。

如需详细了解，请访问国际钼协 (IMOA) 网站可持续发展栏目阅读完整的案例分析：
http://www.imoa.info/download_files/sustainability/IMOAHydrodesulfurization-Case-Study.pdf

资源保护

开展资源保护，保障原材料供应是可持续发展的重要环节。钼能够提高钢的强度，减少某些应用对材料的需求量。钼还能增强不锈钢的耐蚀性，延长产品、部件和构件的使用寿命。

建筑

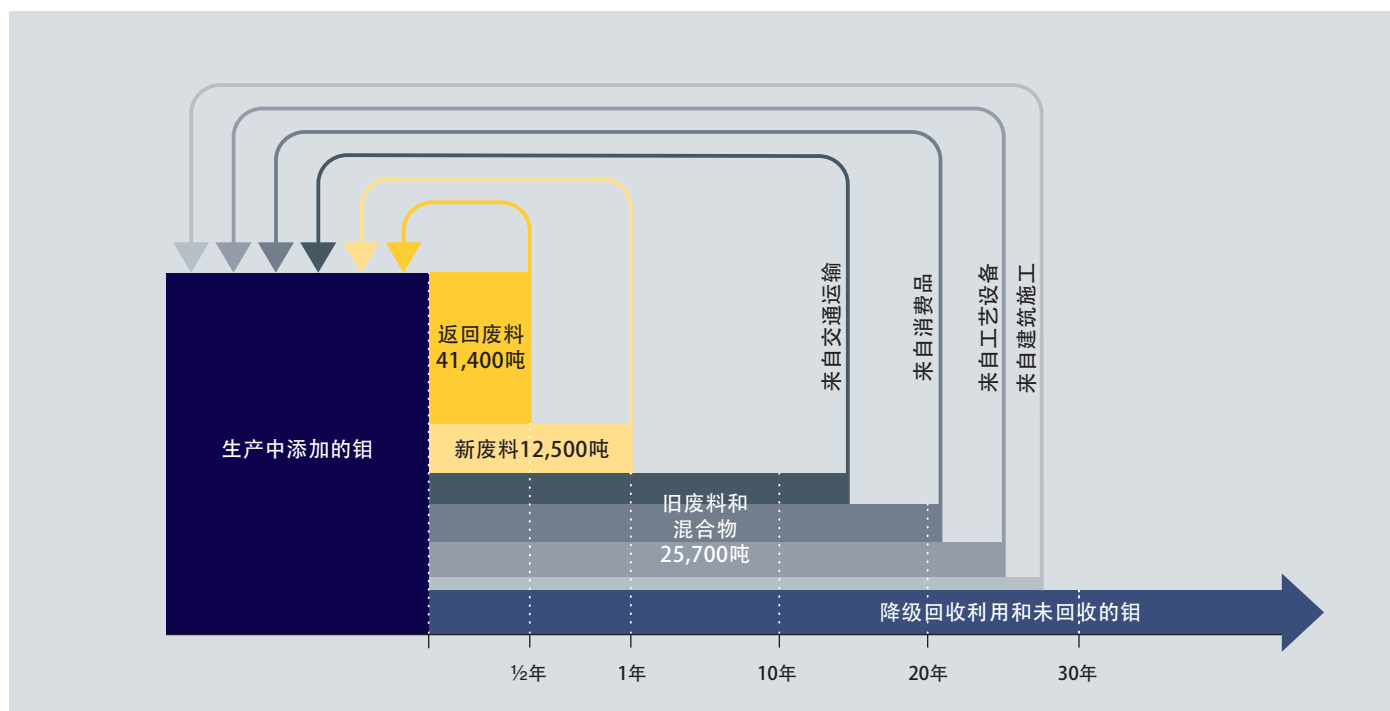
不锈钢本身就是一种非常耐用的建筑材料，不锈钢添加钼以后，耐氯化物腐蚀性（源于沿海地区或除冰盐）和抗污染性能得到大幅提升。含钼不锈钢已成为楼宇、桥梁、交通运输、城市设施、雕塑和许多其他应用的理想之选。

对于桥梁、体育馆等大型项目而言，与传统钢种相比，高强度钢（HSS）构件强度更高、重量更轻，能够节约资源，降低运输、制作的成本和能耗。瑞典斯德哥尔摩弗兰德斯（Friends）体育馆的屋顶采用了高强度钢，钢材总用量节约了17%，总成本节省了14.5%，与传统钢材建造的体育馆相比，在整个生命周期的温室气体排放下降了17%。

另一个案例是法国米约大桥（Millau Viaduct）。大桥有七个钢筋混凝土桥墩，上方为高强度钢桥塔，与采用传统钢材相比，节约了8万吨钢材和钢筋混凝土。桥面板使用了含钼高强度钢，重量减轻了1.8万吨。



建筑项目使用含钼高强度钢，可减轻重量，节约原材料，降低成本和能耗。



2011年钼废料再利用周期。钼废料总占比25%，其中，13%为返回废料，新废料、旧废料和混合废料各占4%。（SMR.2012）

回收利用

不锈钢不管使用过多少次，都可以100%回收，不存在质量下降或降级使用的情况。不锈废钢比普遍为60%左右，北美地区可达到75-85%。全球80%的不锈钢在生命周期结束时被回收利用。美国和日本的研究人员估计，建筑和基础设施用的不锈钢回收利用率为92%。

钼也随之被回收利用。2013年，全球共使用了33万吨钼，其中8.6万吨（26%）为回收钼。同年，不锈钢生产中回收钼占39%，工具钢和高速钢使用的回收钼比例为50%。



麦丽斯塔尔大桥 (Myllysilta Bridge)

挑战

麦丽斯塔尔大桥是芬兰图尔库市跨越奥拉河 (Aurajoki River) 的一座大桥。2010年, 前一座大桥结构受损, 当地举行了一次新桥设计竞赛, 新大桥于2011年11月建成。

奥拉河含盐量较高, 当地冬季漫长, 路面会大量使用除冻盐。因此, 新桥覆层板的耐蚀性至关重要。还有一点很重要: 选用材料所需的维护越少越好。

解决办法

综合考虑了降低生命周期成本、美观性和实际条件后, 选择了不锈钢作为大桥底面的覆层材料。具体钢种为钼含量3.1%的2205双相不锈钢 (EN1.4462或S32205), 该钢种较为普及, 性价比高, 并且在此类严酷环境中非常耐用。

钼的贡献

钼能够提升不锈钢的耐蚀性。钼对增强不锈钢耐点蚀和耐缝隙腐蚀性能作用巨大, 适用于沿海和使用除冰盐的严酷环境。

效益评估

WSP对双相不锈钢的相关环境影响进行了生命周期评估 (LCA), 参照物为可作为替代材料的环氧锌涂层低碳钢。



麦丽斯塔尔大桥 (字面意思为: 磨坊大桥) 是芬兰图尔库市跨越奥拉河 (Aurajoki River) 的一座大桥。

LCA重点对比了两种方案不同的覆层及相关的表面处理在生命周期内的各项表现, 包括大桥100年设计寿命中的维护和更换因素。还评估了生命周期终点覆层材料回收利用的相关影响及效益。

LCA对比了两种材料的影响和生命周期阶段间的潜在权衡因素, 考虑了各项环境影响指标, 包括全球变暖、酸化、富营养化、光化学臭氧生成及非可再生能源消耗。

数据和假设

研究并未对生命周期清单的各个方面进行比较, 如覆层板的切割和成形、初始覆层板的首次装运和100年使用寿命结束后拆卸等, 原因是两者差异并不大。

钢铁生产的影响

大桥覆层板需要的82吨冷轧不锈钢 (牌号: 2205) 的影响数据由供货厂家奥托昆普公司 (Outokumpu) 提供。数据基于该公司欧洲工厂 (德国、瑞士、芬兰) 使用的原料和炼钢工艺, 即电弧炉炼钢, 不锈钢平均废钢比61%。

同样数量的冷轧低碳钢板的影响数据由国际钢铁协会提供, 基于欧盟的平均生产数据, 即高炉炼铁, 1千克钢需要消耗0.11千克废铁和1.36千克铁矿石 (废铁率为11%)。

生产防腐涂层的影响

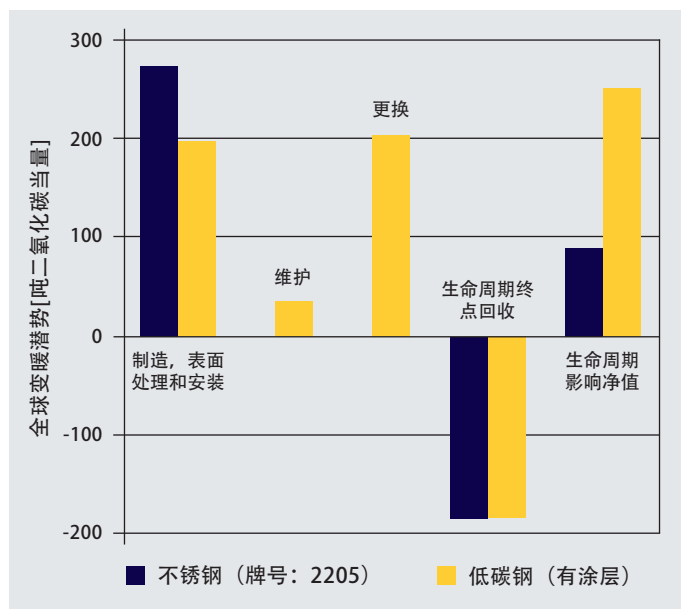
对于低碳钢覆层方案, 为了满足芬兰桥梁标准要求的耐腐蚀性能, 假设需要三层富锌环氧涂层 (Tiel4.20)。

表面处理产生的影响

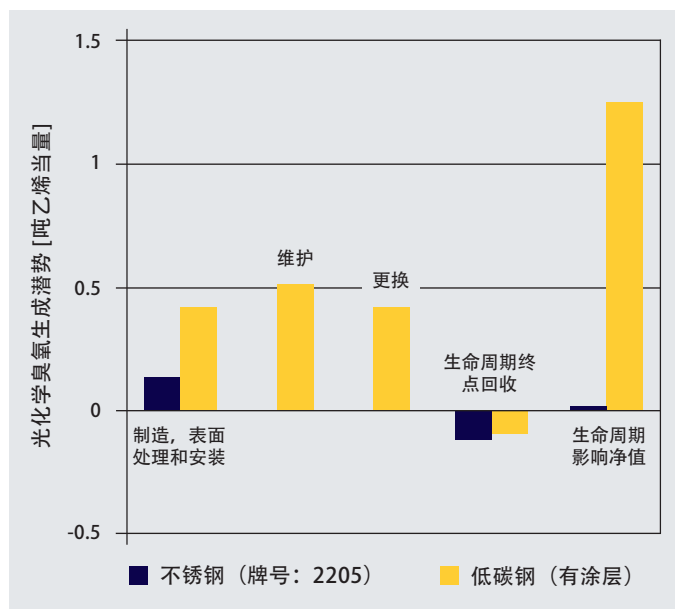
对于不锈钢覆层方案, 表面处理的能耗对生命周期的影响已考虑在内。在低碳钢方案中, 依据出版的防腐涂料技术规范, 对钢板预处理和涂层产生的影响进行了评估。能耗影响基于芬兰电网的数据。

维护工作产生的影响

对于低碳钢方案, 根据涂料的技术规范和行业经验, 假设防腐涂层每20年需要清理和重涂一次。



不锈钢、低碳钢的全球变暖潜势



不锈钢、低碳钢的光化学臭氧生成潜势

更换覆层产生的影响

由于边缘腐蚀和点蚀，清理和重涂也无法阻挡低碳钢覆层退化，因此假设，经过两次重涂（60年后），覆层需进行更换。

生命周期终点回收利用产生的影响

不锈钢、低碳钢生命周期终点回收时产生的环境影响数据分别来源于钢铁生产厂家和国际钢铁协会。按照欧洲标准，此类钢材在生命周期终点的回收率均为95%。从而减少对原生资源的需求，因此，对环境影响实际上为负，即不对环境产生影响。对于不锈钢而言，这种“回收效益”十分显著，接近（有一项指标甚至超过了）原始制造过程产生的影响，其原因在于，与回收效益相比，钢厂生产不锈钢对环境的影响相对较小，参考依据为欧洲平均水平。低碳钢初始覆层和更换覆层同样产生“回收效益”，但达不到不锈钢的水平。

生命周期评估总结和结论

针对芬兰麦丽斯塔大桥采用2205双相不锈钢覆层和低碳钢覆层两个方案对环境的影响进行了生命周期（LCA）

比较评估。结果显示，不锈钢在大部分影响指标上均显著优于低碳钢。采用不锈钢比采用低碳钢，可降低：

- 约65%全球变暖潜势
- 约66%富营养化潜势
- 约99%光化学臭氧生产潜势
- 约37%原生能源需求量（非再生）

因此，对于麦丽斯塔大桥案例，含钼不锈钢（牌号：2205）具有显著的生命周期环境效益，避免了当地或其它类似严峻环境下涉及大桥终生维护的费用、复杂性和安全性等诸多问题。

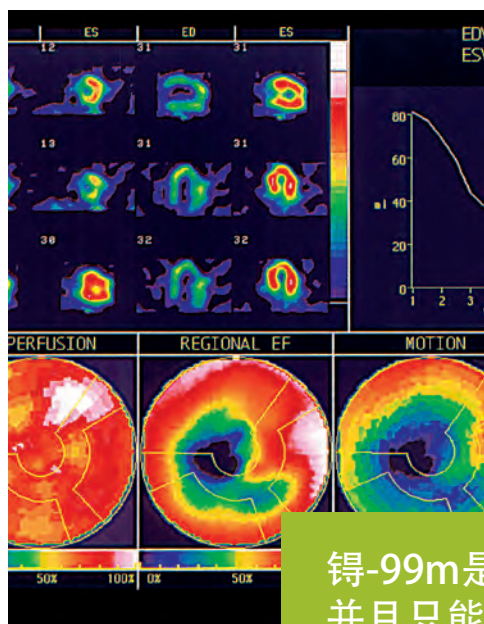
根据欧洲的平均数据（而非覆层制造厂家的数据），对生产2205不锈钢的生命周期影响进行了敏感性测试。除酸化潜势外，不锈钢方案各项指标的生命周期影响净值仍然低于低碳钢方案。其原因可能是制造过程中可再生能源比例低于钢厂提供的数据。

如需详细了解，请访问国际钼协（IMO）网站可持续发展栏目阅读完整案例分析：
http://www.imoa.info/download_files/sustainability/IMO_Myllysilta-Bridge-Case-Study.pdf

关系民生

钼跟我们的日常生活息息相关，有些应用非常普通，有些非同寻常，甚至性命攸关。钼在生命支持技术中起着关键作用，在意想不到的领域中不断为可持续发展做出贡献。

医学影像



钼-99 (Mo-99) 是钼的同位素，能直接衰变成锝-99m (99mTc)，也是这种放射性同位素的唯一来源，全球85%的核医学诊断都需要用到这种放射性同位素。

99mTc的半衰期为6小时，这个时间足够完成诊断，对患者的辐射剂量最小。这种同位素会释放出低能伽马射线，通过低剂量辐射对器官及异常部位成像。

还可以对心脏和其他器官进行非介入性快速诊断，避免不必要的有创探查。成像技术能够清晰地显示出器官和肿瘤的位置及形状，改变了处置和治疗乳房、皮肤和其他恶性肿瘤的方法。由于映像定位准确，微创手术替代了许多大型外科手术。

锝-99m是诊断成像中应用最广泛的放射性同位素，并且只能通过钼衰变获得。

农业

钼是一种重要的植物微量营养素，是合成酶的关键元素，酶能够帮助植物从空气和水中获得氮。缺少钼的植物会出现生长不良、叶片暗淡畸形、无法正常萌蕾和开花的情况。

酸性土壤会阻碍植物摄取钼，加入石灰可以解决这个问题。不过有些土壤存在钼含量先天不足的情况，通过适当施肥、拌种/叶面喷洒补充钼含量，作物可增产60%。补钼还能提高氮肥的效率，充分发挥其价值。

预计未来50年全球粮食需求量将翻番，优化现有耕地的产能可减少新增耕地面积，保护生物多样性。

简明案例分析

植物微量营养素



ECOLOGY



ECONOMY



SOCIETY

钼是植物健康生长的必需元素，在“固定”空气和水中的氮制造氨基酸、蛋白质、叶绿素的过程中发挥着关键作用。某些地区土壤中的钼含量先天不足。营养素含量低的泥炭土壤、强风化土壤也会存在钼含量不足的问题。缺钼的普遍现象是产量低，钼也是继锌和硼元素之后，最容易缺乏的元素。据估计，中国近一半的耕地缺钼。

对症补钼，效果显著。澳大利亚的研究显示，补钼后粮食最高可增产60%。施肥是补充钼和其他元素的理想方法。农民可以用含钼营养素拌种或按一定比例喷洒叶面。据埃及一项研究记录，给橘子树喷洒含钼叶面营养剂后，产量增加了近40%。

如需详细了解，请访问国际钼协（IMO）网站可持续发展栏目阅读完整案例分析：
http://www.imoa.info/download_files/sustainability/IMOa_Micronutrient.pdf

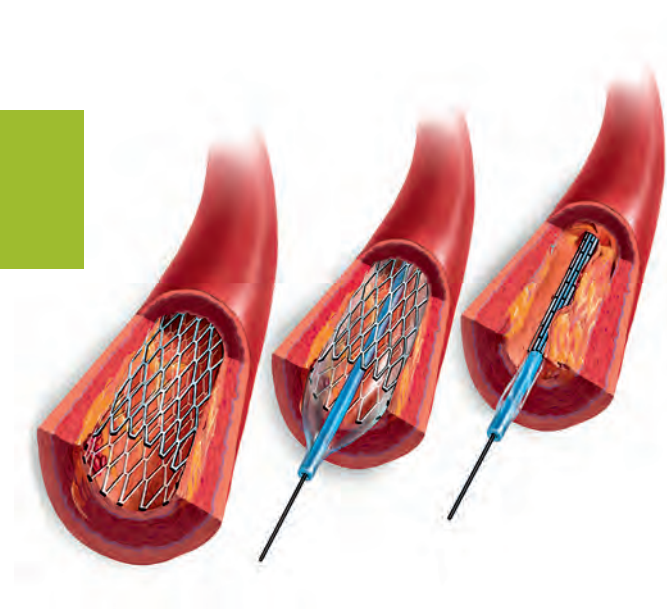


支架

冠心病是全球排名第一的致死疾病。动脉堵塞会降低供氧量，很有可能导致心脏病发作。血管成形术通过管腔球囊扩张重新撑开动脉。1986年冠状动脉支架问世，支架是一节管状不锈钢网，植入动脉后可保持动脉永久张开。考虑到强度和耐蚀性要求，支架由含钼不锈钢制成。

支架介入血管成形术问世的短短几年间，成功率比非支架血管成形术高75%。近年来，支架变得更细、更灵活，导入更加简便，且不易伤及动脉，手术成功率进一步提高。此类新型支架的钼含量最高达10%，更加小巧，可置入较细的动脉中，进一步降低了再次堵塞的可能性。

自20世纪80年代发明支架以来，
含钼合金一直用于支架生产



海水淡化厂

当前，有30亿人（约占全球总人口的40%）生活在缺水地区，每十亿人中有四分之三（相当于十人中就有一人）没有安全饮用水。预计，2025年将有18亿人生活在极度缺水的国家或地区。海水淡化是一项成熟的技术，可将淡水引入干旱地区。这项技术已有数十年的历史，并随着人口增长、工业化和生活标准提高，获得了快速发展。

然而，由于热蒸馏装置的高盐高温和反渗透装置的高压，作业环境的腐蚀性极高。含钼不锈钢能够使这些战略资产免遭这种固有腐蚀环境的侵蚀，否则，频繁整修更换的高昂费用会造成工厂难以为继。



简明案例分析 海水淡化厂

全球1.7万家海水淡化厂每天的淡水产量为8100万立方米。

海水淡化厂均采用蒸馏或反渗透技术，高盐、高温和高压构成了最苛刻的腐蚀环境。初期的低碳钢装置早已更换成含钼耐蚀钢。

现代热蒸馏装置由含钼双向不锈钢制成，反渗透装置常选用钼含量6%的钢种。

钼是海水淡化厂的保护神，没有钼，设备就需要频繁更换。



如需详细了解，请访问国际钼协（IMOA）网站可持续发展栏目阅读完整案例分析：
http://www.imoa.info/download_files/sustainability/IMOA_Desalination.pdf

ISBN 978-1-907470-36-3