



钼世界

1/2022

- 2 更换旧铁路桥
- 6 钼：对风力发电机至关重要
- 10 纪念雕塑“关注”
- 12 深圳二次供水系统
- 16 3D打印热门商品
- 19 IMOA 新闻



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。(KW)



钼：对风力发电机至关重要

为了防止气候变化带来最糟糕的后果，风能和太阳能等可再生能源在全球发电量中的份额必须要增加两倍以上。而钼在多项绿色技术中都发挥了作用，对于风力发电的作用尤为关键。因此，随着对风力发电机需求的增长，许多风电设备部件对钼的需求也将增加。





根据世界气象组织的数据，2020年和2021年大气中温室气体浓度创历史新高。2021年7月是地球有记录以来最热的月份。疫情造成的经济放缓未能遏制环境中的温室气体浓度，尽管温室气体排放量暂时有所下降。人类有太多的必要活动如供暖和交通，一直严重依赖或完全依赖化石燃料。根据联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）的估计，如果世界保持目前的排放水平，预计气候变化将产生严重的负面影响，包括极端干旱和洪水，人类大规模流离失所以及粮食供应受到威胁。尽管风能、太阳能和水力发电等可再生能源技术已经占到当今发电总量的25%，但到2050年，它们的份额还需要增加到接近80%。为实现这一转变，需要大量的土地和原材料。钼就是这样一种材料——一种不可替代的合金元素，提供足够的机械性能来承受风力发电过程中巨大的作用力。

克服传动系统的问题

风力发电过程会将庞大的叶片捕获的巨大且变化的风力集中在相对较小的齿轮齿和其他部件上。风对部件施加的巨大应力甚至可能损害或破坏传动系统。为了克服齿轮箱故障并提高效率，开发了无齿轮风力涡轮机或“直接驱动”系统。在这些系统中，转子直接连接到发电机，免去了传动系统。然而，大多数直接驱动系统要依靠钕等稀土金属制造的大型磁铁，这带来了供应上的潜在风险，因为在未来几十年，可再生能源对稀土金属的需求将呈指数级增长。电动汽车和消费类电子产品等其他应用也在争夺这些关键资源。与此同时，稀土金属的开采特别是精炼集中在少数几个国家，增加了供应风险。幸运的是，传动系统的问题也可以通过添加钼改善齿轮钢性能来解决，钼提高了这些钢的硬度、强度和韧性。并且钼的供应没有风险，主要矿床遍布美洲和中国，地理分布较平衡。

目前，无齿轮传动系统主要用于大功率的海上风力发电机和部分3兆瓦的陆上风电机，大部分在欧洲。而除了稀土磁体相关的供应链风险外，未来的趋势是向更高功率的陆上涡轮机发展，这也有利于采用齿轮箱的设计。考虑到未来设计的转矩要求，若采用直接驱动系统，将需要十分巨大笨重的发电机，因此无法在现实中广泛使用。

风力发电机概览

目前，在所有可再生能源技术中，风力发电对于增加钼的使用量具有最大的潜力。与其他发电技术相比，风电设备需要的钢和铸铁数量最多。塔架重量中钢的占比是绝大部分（约98%），这两种材料都用于机舱部件—涡轮机中容纳所有发电部件的部分，包括齿轮箱，钢约占后者重量的一半。铸铁主要用于机舱（40%）和转子（30%）中。海上风力发电机的机舱和转子轮毂的重量可达900吨，还不包括由玻璃纤维增强聚合物材料制成的叶片的重量。海上风力发电机还需要固定在海床上的锚固结构，这通常是钢制的单桩或三桩结构。

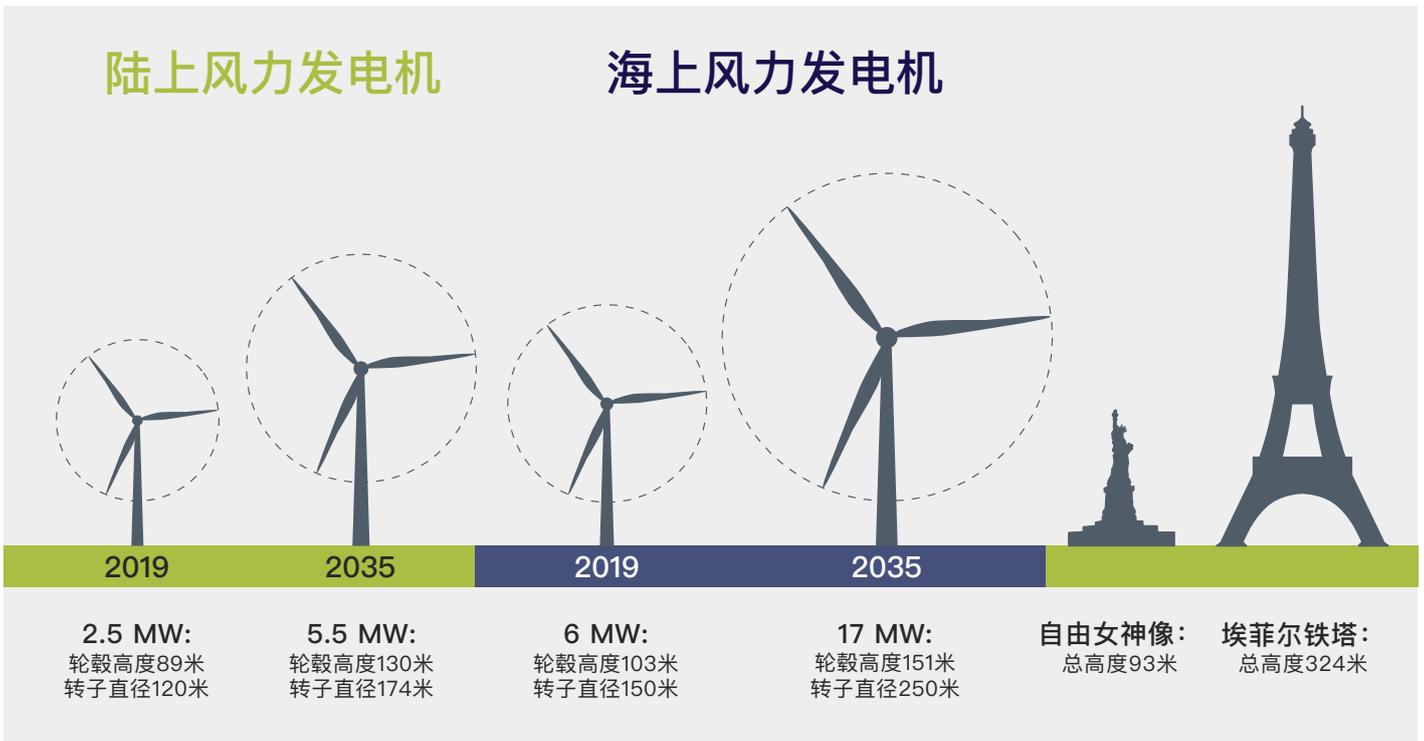
风力发电机按照它们在理想条件和风速下的发电量划分功率等级。目前，陆上风力发电机的平均额定功率为3兆瓦（MW），但主要涡轮机制造商已经开始瞄准5兆瓦范围的更大输出功率的市场。可参考以下数据，最近建造的容量系数为42%的5兆瓦风力涡轮机足以为大约5000个中等大小的欧盟家庭供电。海上风力发电机要大得多，能够产生更多的电力：目前它们的运行功率为7兆瓦，但正在探索设计功率高达16兆瓦的涡轮机。在欧洲，目前陆上风电与海上风电装机容量比为80:20，

预计不会有大的变化。其他地区运行中的海上风电机组份额要低得多，但预计未来会接近欧洲的比例。

风力发电机的塔筒由单独的环形构件组成。它们的长度为20–25米，由扁平轧制碳钢厚板制成。大多数现代风电塔筒高70–140米，直径为4–5米。最新最大的海上风电塔筒一般由合金钢 S355 (AISI A276) 建造，其屈服强度约为350兆帕（或50 ksi）。由于仅在生产屈服强度水平为500兆帕及以上的钢板时才需要钼，因此在可预见的未来，钼不会被用于塔筒的环形构件。但钼在连接固定塔筒方面发挥了重要作用。塔筒的各个部分通常使用不超过M72（直径72毫米）的螺母和螺栓进行组装。典型的螺栓用合金钢是34CrNiMo6 (1.6582) 或30CrNiMo8 (1.6580)，钼含量在0.2–0.5%之间，可满足对强度和韧性的很高要求。

准备好迎接风的到来

含钼合金钢在风电机组的动力总成部件上应用最广泛。转子的低转速必须被传输并转换为较高的转速，以适合驱动发电机，因此，需要轴和齿轮箱。由于这些部



最近和未来的陆上和海上风力发电机模型尺寸和额定功率比较（来源：伯克利国家实验室）。为便于比较，右侧是纽约自由女神像和巴黎埃菲尔铁塔的高度。



➤ 带有传动系统的风力发电机机舱内部



➤ 风力涡轮机机舱在高空中，人员很难进入进行维护和检修。采用较好的材料，可以减少进行代价不菲的维修

件在可靠性和性能方面十分关键，因此需要一个结合了优异的强度、韧性和抗疲劳性能的钢种。调质钢如42CrMo4 (AISI4140) 是驱动轴的完美解决方案。

CrNiMo合金渗碳钢是齿轮部件的首选。通常，这些钢中钼含量为0.2–0.3%。

然而，随着风电机尺寸和额定功率的不断增加，转矩密度也不断增加，齿轮钢面临着更苛刻的性能要求。受以往IMO项目的启发，齿轮制造方面的最新发展表明，通过将钼含量提高到0.5–0.8%，可以大幅度提高材料性能。在减重要求的推动下，未来还可能开发出其他潜在的钼应用。因此，等温淬火球墨铸铁铸件和超高强度钢板在动力总成承载框架和壳体方面可发挥越来越重要的作用。现在这些钢材的钼添加量通常在0.3–0.8%之间。

对当前风电机各种部件的详细分析表明，每额定兆瓦需要100–120千克钼。考虑到技术的发展，特别是风力涡轮机的额定功率不断提高，预计风力发电市场的很大一部分将会较密集地使用钼。根据国际能源署“超越2度情景”对齿轮传动和无齿轮传动混合技术的预测，从现在到2050年，风力发电行业对钼的需求量应该在30万吨左右，超过了钼一年的开采总量。就建造船舶、起重机和自升式钻井平台等必需的重型运输和安装设备所用的钢铁合金材料而言，考虑到钼在其中的用量，这一数字还会大大增加。

为世界供电却不产生碳排放似乎是不可能的，但就像开发有效的新冠疫苗和适应疫情一样，人类完全有能力面对挑战。无论未来哪种可再生能源发电的预测被证明是正确的，钼都会随风而行，大有作为。(HM)

风力发电机使用多少钢、铸铁和钼？

- 110–140吨钢/兆瓦*
- 18–21吨铸铁/兆瓦*
- 100–120公斤钼/兆瓦*

* 每兆瓦的具体金属需求量

示例：

- 3 MW陆上风电机： 400吨钢
- 最大的海上风电机： 1500吨钢

预计到2050年的需求**：

- 4亿吨钢
- 6500万吨铸铁
- 30万吨钼

** 根据国际能源署的“超过2度情景”，到2050年，需要增加3500 GW的风电容量。这些估算不包括安装船、自升式作业平台、起重机等特殊设备所需的钢材。

纪念雕塑“关注”

在慈善家、艺术家和建筑师的支持和指导下，一群学童将垃圾变成了永恒的纪念雕塑。“关注”纪念雕塑收集了600万个苏打水易拉罐拉环，每个拉环代表一个几十年前失去的生命。这个雕塑凭借含钼不锈钢所赋予的耐腐蚀能力，在美国中西部充满除冰盐的冬天里保持着美丽无暇。

1996年，匹兹堡的历史教师比尔·沃尔特想寻找一种具体有形的方式来帮助他的中学生们理解600万这个数字有多么巨大。这个数字是在纳粹大屠杀中被杀害的犹太人的数量，另外还有600万吉普赛人、残疾人、天主教神职人员、政治异见人士和LGBT人士也在大屠杀中丧生。为了将这个数形象化，沃尔特选择了一个学生们可以拿着数的普通物品——被丢弃的易拉罐拉环。学生们接受了老师的挑战，开始从世界各地收集易拉罐拉环。不论形状、颜色或大小如何，没有一个罐的拉环

被丢弃。今天，它们被展示在南希和加里·塔克菲尔特“关注”纪念雕塑中——一个纪念大屠杀遇难者的雕塑。这个闪闪发光、迷宫般的316不锈钢和玻璃雕塑坐落在社区日间学校的场地上，低调却不可小觑。

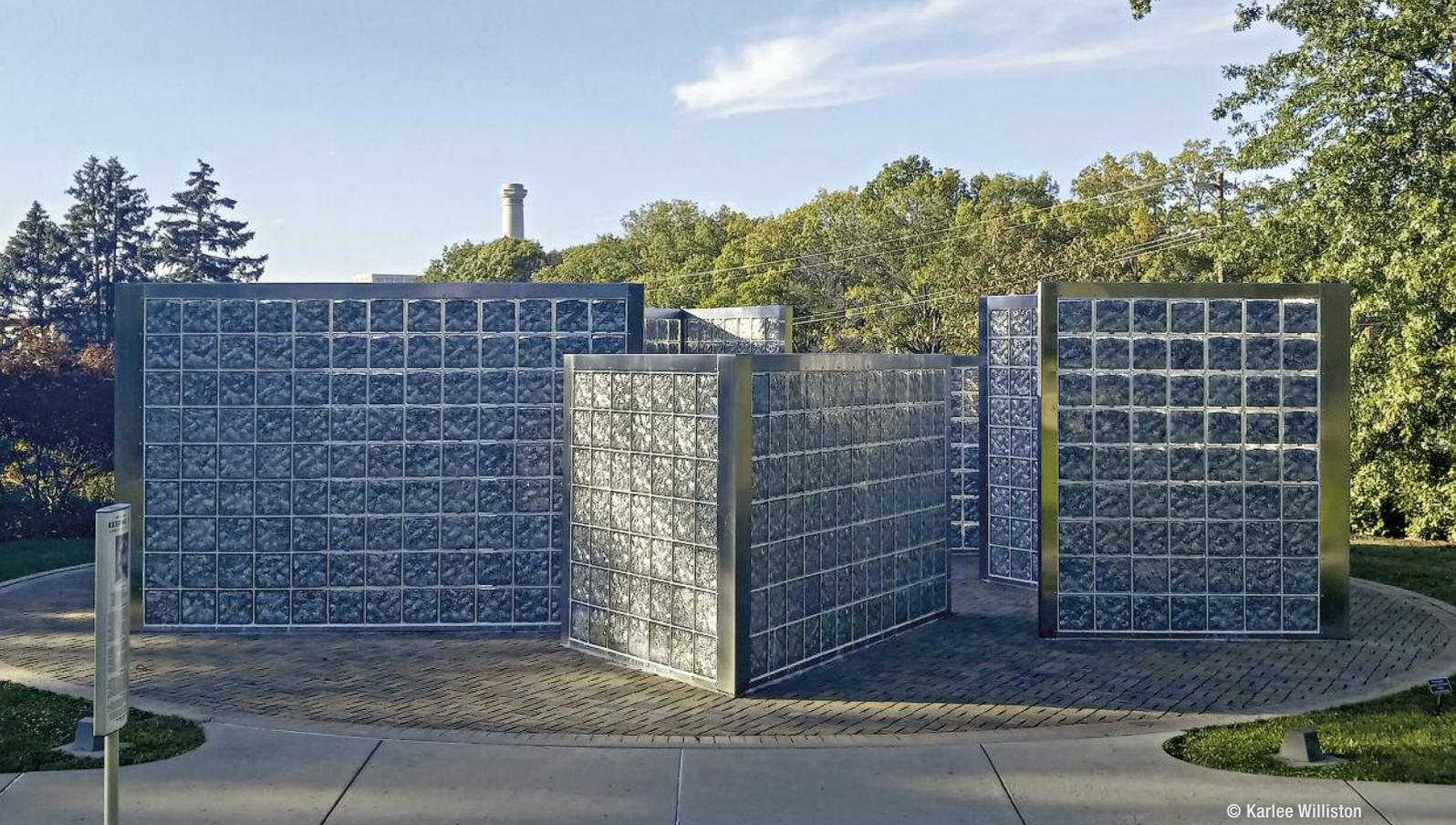
使六百万形象化

在四年的时间里，沃尔特的教室里装满了玻璃鱼缸，里面装满了易拉罐拉环，非常重，以至于这栋有近百年历史的建筑的地板在重压下隆起变形。学生们已经完成了看似不可能的收集任务，他们面临着如何处理这1179公斤的拉环。当时，学校正在接待艺术家艾莲娜希亚特霍利汉，她经常与学校和社区组织合作。学生们和希亚特霍利汉开始了合作，她分享了她在用可回收材料制作公共艺术方面的专业知识。三个六年级女生的设计方案胜出。她们简单的设想最终成为国际知名的地标，也是全世界年轻人设计的最大和最复杂的公共艺术品之一。

如何展示这些拉环是另一个问题。学生们考虑过将拉环嵌入混凝土中，或者将它们放在空心的亚克力墙中，但发现都不合适。受儿童玻璃硬币的启发，他们请当地的一家玻璃公司制作方形的玻璃砖，上面有一个槽，很适合储存拉环。在艺术家的指导下，几个学生小

从上面看，雕塑形成了一个抽象的大卫之星





© Karlee Williston

➤ 社区日校的学生接受培训，为人们参观雕塑做导游

组首先制作了一个雕塑的泥塑模型，然后用有机玻璃做墙面进行了改造，用皱巴巴的铝箔来表示拉环的外观。在得到当地政府的批准后，一家建筑公司提出了修改意见，并制定了方案设计和合同文件，使该项目进展到接近于建造的阶段。

承受重量

纪念雕塑由960个独立的玻璃砖组成，每个玻璃块都装满6250个拉环，学生们精心计数并插入玻璃块中。每块玻璃砖大约有9.1公斤重。它们被堆放在一个混凝土基座上，形成不同尺寸的墙，高度为2.1米-2.7米。

为了稳定近9吨重的玻璃砖，必须有一个坚固的骨架。建筑师和制造商选择316L不锈钢是因为它的强度和抵抗当地腐蚀性环境的能力。匹兹堡大量使用除冰盐，室外金属的生锈和劣化很普遍。纪念雕塑位于校园边缘，面对一个比较繁忙的十字路口，因此随着时间的推移，除冰盐会在其有轻度纹理的表面积累。而316L不锈钢中2%的钼有助于抵御这种氯化物堆积带来的腐蚀。事实上，不锈钢在使用8年后仍然没有锈迹，完美无瑕。

白天，当不断变化的光线照在装满拉环的玻璃砖上时，雕塑“关注”看上去栩栩如生。夜晚，装饰性灯光的使用提供了另一种景观。观看雕塑，即可导游讲解，也可自助参观。现场参观者可以通过观看外部或进入其中心的小教堂似的冥想空间来理解其意义。雕塑闪闪发光的不锈钢吸引了路人的注意，召唤人们“关注”我们的人性，准备好对抗偏见和不公正，使世界变得更美好。(RB)

➤ “关注”雕塑采用4号表面加工，外观均一，可减少访客留下的指纹



© Karlee Williston



深圳的二次供水系统

全世界有三分之一的人无法获得清洁的饮用水。即使是拥有成熟公用设施的大城市，预计也无法满足人们对饮用水的需求。深圳是其中之一：中国第一个自由贸易区和创新之都。一项雄心勃勃的计划明确将含钼316不锈钢配水系统作为水漏损问题的解决方案。

1980年，深圳还是一个只有几千人的沉睡小渔村，一辆出租车拉着一辆木车为全村服务。如今，它是一座拥有1750万人口的繁华都市，也是一个创新和科技中心，对于全球供应链来说不可或缺。深圳位于南部沿海地区，毗邻香港，是现代出口驱动型经济模式的理想试验场。深圳将其对紧张的水资源日益依赖的状况当成改善基础设施的催化剂，而不是一个障碍。深圳市公布了到2025年改善水资源的目标，甚至承诺打开水龙头即可直接饮用清洁的水——这在现代中国尚属首次。深圳正在实施采用316不锈钢的二次供水系统，以最大限度地减少最宝贵水资源的浪费。在中央政府的支持下，预计其他城市也将效仿深圳的计划，在全国范围内减少水漏损。

二次供水系统

二次供水系统将水从街道下的主干线输送到楼房的水龙头。这些系统在20世纪80年代末和90年代初开始在中国迅速增长。这是第一次为普通城市居民建造带有室内水管的高层公寓社区，这些设施很快成为新兴繁荣的象征。

典型的二次供水系统从“快速龙头”开始。水从主干管道通过这个快速龙头进入二次管道，然后进入一个缓冲储存罐。在高层建筑中，通过泵加压，由变频器调节适应不同流量，保证可靠供水并实现最高能效。

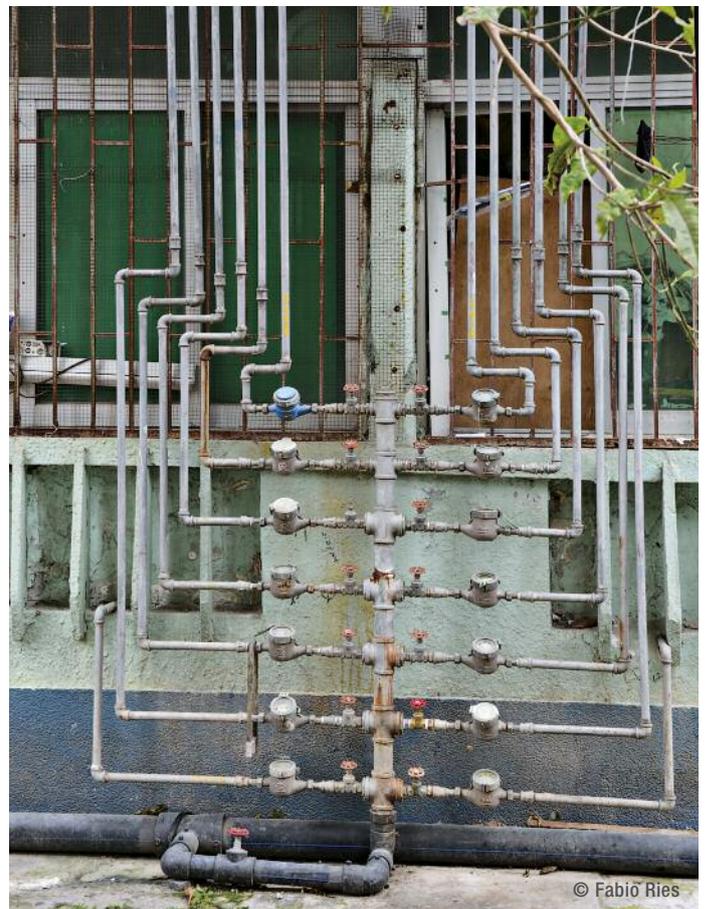
供水难题

在中国，二次供水系统过去采用镀锌钢、球墨铸铁或塑料管道，它们都存在渗漏问题。据世界银行估计，在不到10年的时间里，全球用水需求量将超过供应量40%。而世界上大约25%至30%处理过的饮用水因渗漏而被浪费。一些地区的水在分配过程中损失了一半以上。浪费的不仅仅是水，用于处理、储存和运输的资源也被浪费了。但最重要的是，水漏损造成了缺水风险，特别是在干旱期间，由于气候变化，干旱正在加剧。大多数水的渗漏发生在输配水的最后一段，即“配水管线”，将水从主干线输送到各个住宅和企业水表的地下管道。安装不锈钢输配水管线可以大大降低漏水率和维修率，为东京等城市节约宝贵的水资源，并且在系统的使用寿命内可节省数十亿美元。

中国拥有世界近20%的人口，但淡水资源仅占7%。水的分布不均：北部和西部干旱，而南部因季节性暴雨而发生洪涝灾害。严重的污染使超过60%的地下水和25%的河流湖泊不适合人类接触。中国20%的淡水甚至不适合工业或农业使用。标志性的南水北调工程是人类历史上最昂贵的工程，但在缓解中国北方人口稠密平原的长期缺水问题方面，效果不明显。

污染严重、人口不断增长的深圳非常清楚这些水资源难题。深圳没有较深的主要河流，只有地表水，依靠季节性降雨来补充。水的质量和能否利用在每个月和每年都有很大差异。曾经帮助清洁和稳定水位的河口已经被抽干用于工业发展。深圳必须寻找其他解决方案。到2025年，该市希望通过收集和再利用雨水、更好地整合利益相关者和维护实践、建造新水库以及为所有住宅配备不锈钢二次供水系统来增加供水量和改善水质。

▶ 原来的供水系统采用镀锌钢、球墨铸铁或塑料，发生腐蚀和渗漏，导致水损失和污染





中国二次供水系统升级改造的相关数字

全国**2亿多**户家庭需要升级改造

第一阶段目标：**16万个**住宅区
(2019–2023) **1.1亿人**

到2020年建成：**6万个**住宅区
4100万人

➤ 深圳约有1750万居民，并继续以年均5.35%的速度增长

聚焦深圳

深圳的自来水公司发现二次供水系统是配水过程中的关键故障点。这里是能源消耗最高的地方，也是最容易发生渗漏和污染的地方。因此，深圳新的二次供水系统是全自动化的，在线路的各个点上安装了流量计和摄像头，以监测流速和调节阀门和泵的容量。它们与水厂和主要的市政供水管道一起被整合到一个智能控制系统中。

自2010年起，深圳已在选定的城区进行了系统更换的试点工作，2017年全面铺开。在测试和比较不同的材料之后，指定316L不锈钢作为二次供水系统中所有管道、配件和水箱强制使用的材料，无论是否安装在室外、地下或墙内。对于阀门、泵和水表，尚未强制要求使用316L不锈钢，但强烈建议使用。

深圳水务集团选择316L不锈钢是因为其强度高、耐腐蚀、易于维护和清洁、使用寿命长和可回收。由于深圳地处潮湿的沿海地区，空气和土壤中的盐含量都很高，因此腐蚀是一个主要问题。空气污染水平升高也为颗粒物粘附在表面上创造了条件，可能导致大气腐蚀。316L不锈钢由于含有2.2%的钼，除了提高了耐腐蚀性，建筑物外部若采用它进行翻新改造，还可长期保持光洁漂亮的外观。还有一个因素是不锈钢产品在中国市场上供货充裕，在过去的五年中，中国的管道制造厂家增长了三倍。

政府出资支持的新系统安装工程对2000年之前建成的住宅小区进行了升级改造以符合新标准的要求。水务局的目标是到2025年为所有深圳居民安装符合要求的二次供水系统。2018年，深圳270万人口的盐田区成为第一个采用不锈钢二次系统并提高了自来水水质的地区。

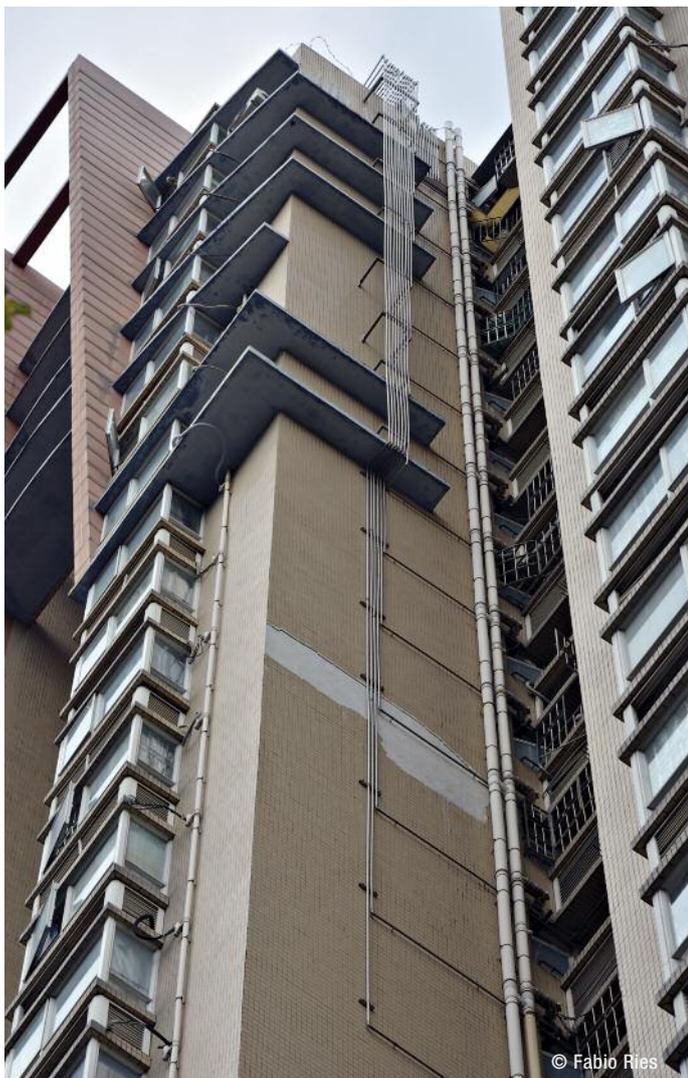
➤ 由于采用了不锈钢，新系统看起来干净整洁，且容易清洁和维护



不只是深圳

紧跟深圳的脚步，2018年在全国范围内开展了对旧二次供水系统的改造工程，目标是在五年内覆盖16万个住宅区的1.1亿人口。2019年完成了2万个升级改造，2020年完成了4万多个。新冠疫情的爆发激发了新的紧迫性，进一步促使政府对健康和安全的推动，同时也刺激了经济。这项工程受到普遍欢迎，比计划时间大大提前，将有更多的公共资金来维持其长期可行性。总共有超过2亿户家庭需要进行二次供水系统升级或安装。粗略估计，未来五年可能需要约15000吨钼来实现这些目标，年平均价值相当于2020年钼总产量的1%以上。

➤ 一个拥有1000多户家庭的典型中国住宅区的升级改造需要20-25吨不锈钢管和配件



➤ 不锈钢的卫生特性和耐腐蚀特性使其成为帮助中国实现人人享有清洁饮用水目标的理想材料

为了进一步推广不锈钢二次供水系统，深圳市公用事业管理部门召开了“全国二次供水设施大会”。这次会议汇集了来自全国各地的专家学者、公用事业部门和供应商，深入研究了深圳案例。“深圳水务大学”是水行业利益相关者的研究和交流平台，也帮助推广深圳的做法。深圳水务集团通过在全国各地收购当地水务公司的股份，希望将其成功的模式和先进的运营经验输出到全国各地。

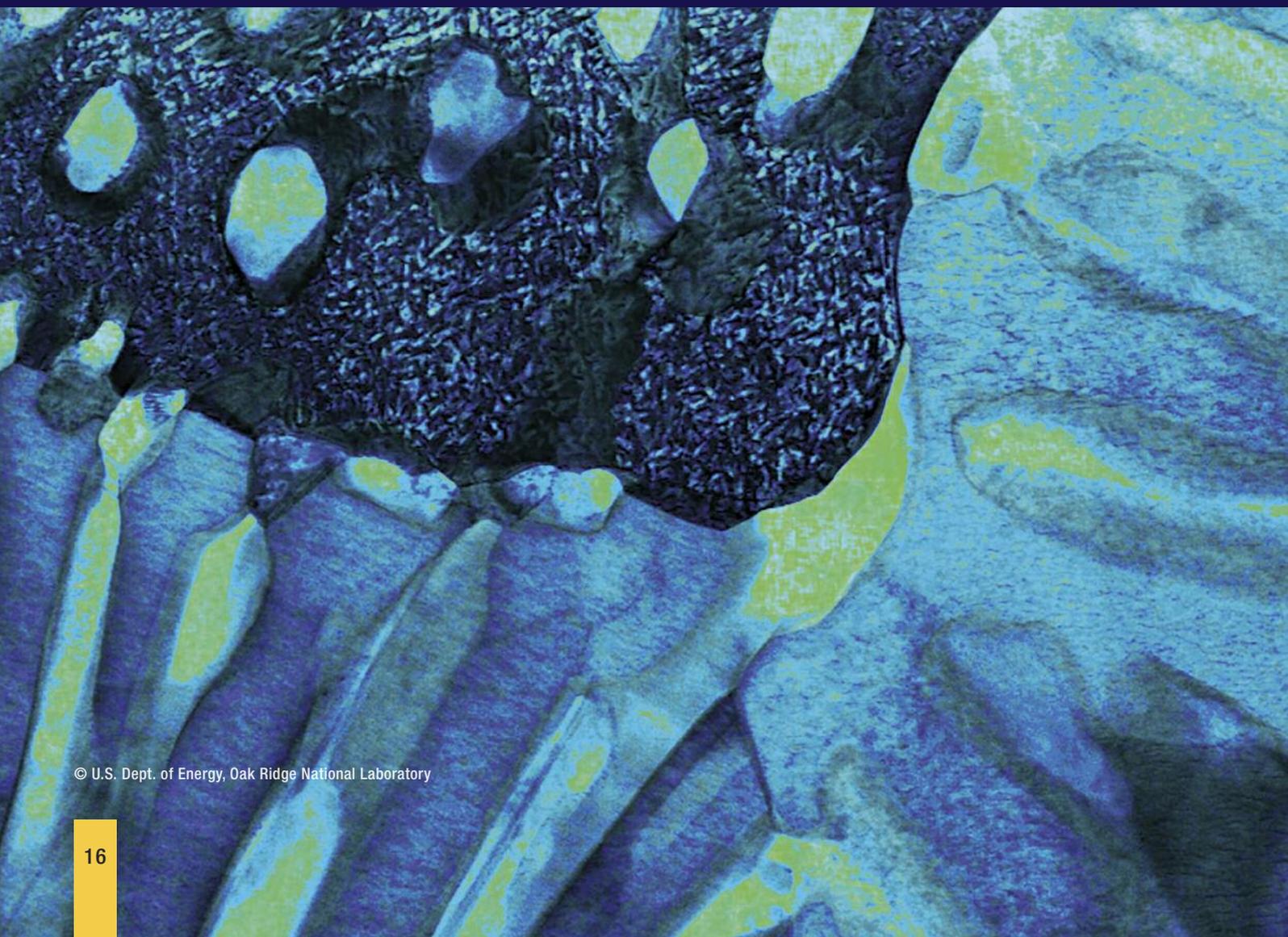
福州、海口和珠海等城市的水务公司已经显示出“学习深圳经验”的强烈决心，而上海和苏州的几个区已经试行强制使用316L不锈钢。2020年，杭州市对100多个二次供水设施进行了升级改造，采用了304和316不锈钢部件。其他省市尽管在当地规范中强制要求使用“304或更高牌号的不锈钢”，但对于公共建筑或外部应用，强烈建议采用316L不锈钢。

为子孙后代保障足够的清洁饮水的时间已经所剩不多了。但是，深圳的案例凸显了即使在挑战似乎无法克服的情况下，也有可行的解决方案。安装在高楼大厦侧面的新的不锈钢二次供水系统，在阳光下熠熠生辉，它直观地提示我们，人人享有清洁的饮水是能够实现的。（FR）



3D打印热门商品

钼金属因其在高温下的强度而成为许多行业不可缺少的材料。但有些应用需要复杂且不易加工的形状。3D打印是解决复杂部件生产问题的一种方法，但是，当用钼金属生产此类零件时，往往会出现缺陷。采用碳化钛对钼金属进行合金化的新工艺，可能预示着一个转折点。



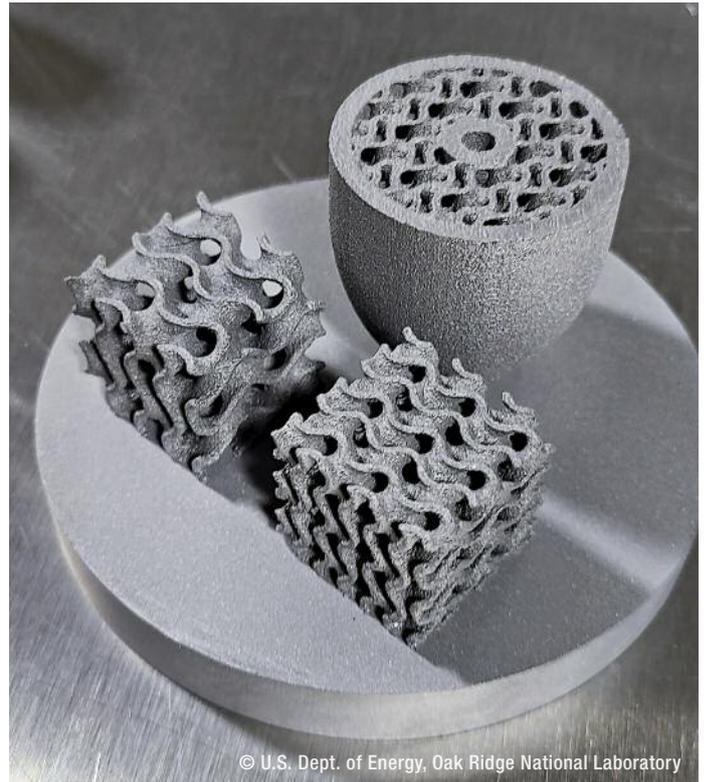
预计30年后，世界对电力的需求量将是目前用电量的两倍。但是，在扩大能源生产的同时，温室气体排放量必须降低到目前的水平以下，以避免气候变化带来的最坏影响。要在不增加排放的情况下增加电力供应，解决方案将是多方面的，它可能涉及提高发电设备内部的工作温度以提高其效率。例如，将核反应堆内部的温度从900°C提高到1000°C，将使生产率提高10%。

尽管这为减少排放和降低成本提供了重要机会，但随着运行温度的进一步提升，面对的是材料科学的难题。只有少数材料可能成为这种极端高温下的候选材料。钼金属和钼基合金所能承受的高温，将使其他材料发生变形或液化，这是因为钼是现有元素中熔点最高的元素之一（2622°C）。最重要的是，钼在高温下仍能保持其形状和强度。其他能够耐受极端温度的金属如铌和铈，天然丰度不如钼，且价格昂贵或存在供应方面的风险。钼金属有时与碳纤维复合材料配合使用，后者在高温下具有更大的稳定性。然而，碳纤维复合材料的设计和制造都极其昂贵和耗时。因此，科学界继续将钼金属视为一种解决方案，但它也带来了挑战。

打印范式转变

高度专业化的工业部件越来越多地通过增材制造（AM）来生产，也被称为3D打印。增材制造技术起源于20世纪80年代中期，用于加速产品原型的开发。该工艺的特点是在微观层面将材料一层层融合在一起。“打印机”参考计算机三维模型，逐层生成一个精确的复制品。与传统的铣削、切削、钻孔和磨削的“减材”制造方法不同，成功的增材制造技术几乎不产生任何浪费。使用增材制造技术来增加零件的复杂程度往往更具成本效益，因为可以在计算机上方便地修改设计方案。一些传统制造难以甚至不可能实现的设计，如与零件外表面没有连接的空心零件，可以通过3D打印来制造。

将钼金属3D打印成航空航天、国防和能源工业所需的复杂形状，拥有这个能力可以提高热效率，这最终意味着用更少的资源产生更多的电能。然而，挑战在于3D打印的钼金属可能会损失机械性能和稳定性，导致其无法使用。这是因为钼金属和钼合金的3D打印在打印条件不适当的情况下容易形成气孔和裂纹等缺陷。但是，通过仔细控制3D打印过程，就可以用钼金属和钼基合金（如碳化钨钼基合金）生产出性能稳定、高



© U.S. Dept. of Energy, Oak Ridge National Laboratory

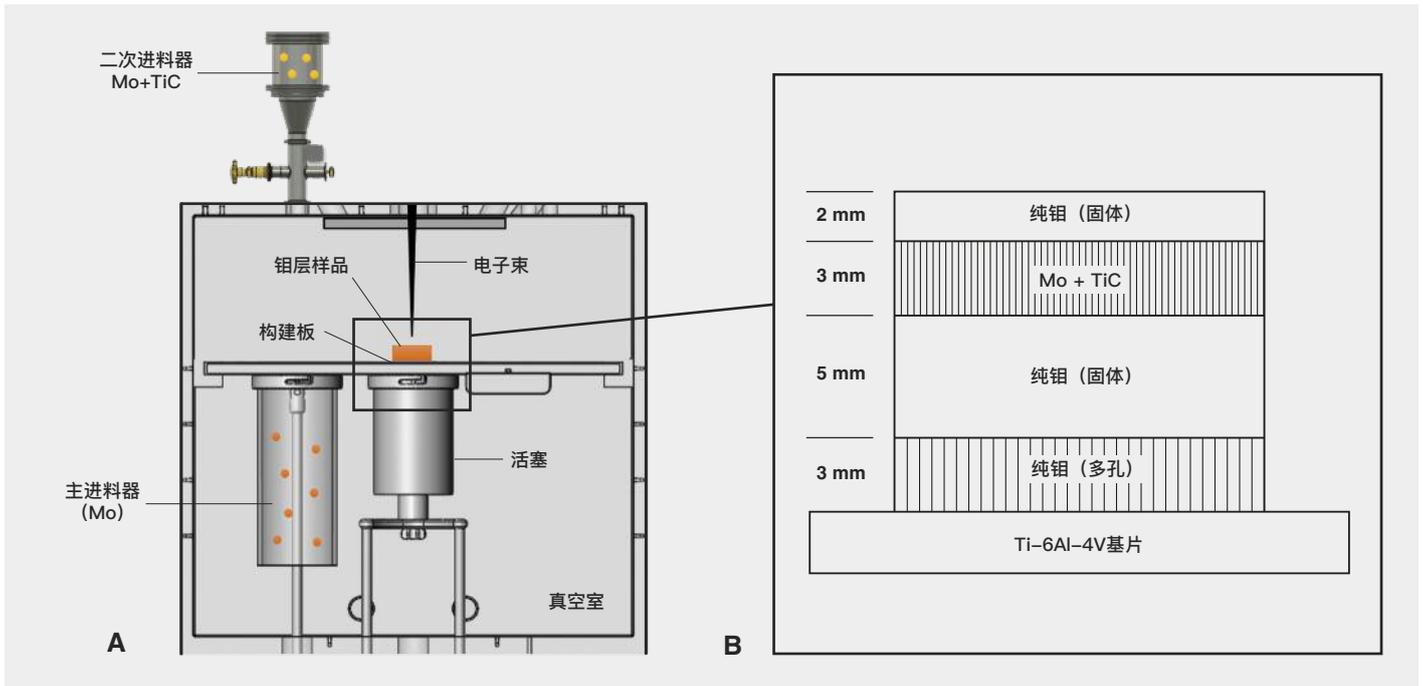
▶ 3D打印可以打印出其他方式无法制造的复杂形状。这些是高效Mo-TiC热交换器的原型部件©美国能源部橡树岭国家实验室

质量无裂纹的零件。位于美国东南部的橡树岭国家实验室（ORNL）的科学家正在与外部利益相关者合作，对钼金属和钼基合金物件进行规模试验。

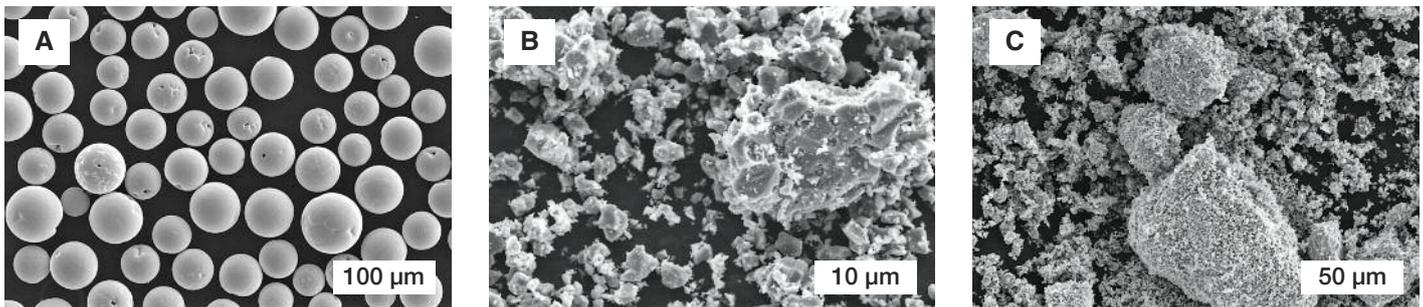
不再从缝隙中溜走

这种制造工艺使用一种称为“粉末床熔融”（PBF）的增材制造方法，将粉末状的原料熔化变成固体。PBF需要激光或电子束来熔化和融合粉末状的成分。研究人员使用了后一种方法，因为在打印过程中对温度变化的控制更好。因为材料在加工过程中容易产生缺陷，钼金属的PBF尚未在工业规模上取得成功，但最近的研究结果表明这种情况很快就会改变。

研究人员展示了打印高质量钼金属的能力，它具有独特的晶粒结构，是传统的钼金属制造工艺无法实现的。PBF加工技术的进步使得钼金属能够成功地被打印制成核热推进系统所用的结构部件。



定制的电子束PBF构建室和二次进料器 (A) 以及Mo-Mo+TiC-Mo夹心样品 (B) 的示意图。
资料来源：美国能源部橡树岭国家实验室



钼粉 (A) ， TiC颗粒 (B) 和两种原料粉未经机械合金化而形成的60%钼/40%TiC粉末 (C)
© 美国能源部橡树岭国家实验室

除了钼金属外，研究人员还成功打印出基体钼-碳化钛复合材料。在材料科学术语中，它们叫做金属陶瓷。为了制造金属陶瓷，研究人员对60%钼粉和40%碳化钛的原料粉末进行了机械合金化，并进行了打印。打印之后，没有发现任何缺陷。这类材料的成功生产，对于要求材料在极端环境如超临界二氧化碳条件下运行的能源系统，具有推动其进步的潜力。

其他研究团队也取得了可喜结果。2019年，北京理工大学为航空航天工业的离子推进器开发了3D打印钼金属部件。该研究小组还将钼金属粉末与碳化钛粉末结合，形成了稳定、抗氧化的复合材料。这种复合方法似

乎产生了积极的效果，不仅适用于纯钼金属，也适用于其他含钼合金。新加坡的一个研究团队将二硼化钛纳米颗粒和含钼镍基合金Inconel 625混合，也产生了较好的可打印性。这些进展进一步证明了未来大幅提高3D打印钼金属和含钼合金部件的可行性。这些项目展示了钼的独特性能及其在全球脱碳化进程中日益增长的价值。

提高核反应堆等热电厂的效率取决于更好的材料的开发，特别是那些具有高温强度的材料。钼可以说是这项工作的最佳候选材料。能够用3D将材料打印出工业所需的形状的能力，会对少消耗多发电的目标产生重大影响。(KW)



IMOA 新闻

65号提案生效

2021年3月19日，加州环境健康危害评估办公室（OEHHA）将三氧化钼（CAS号：1313-27-5）列入加州65号提案已知致癌物质清单。这项裁决意味着，无论是美国国内还是国外的公司，如果其产品有可能在加州销售，就必须了解65号提案以及需要做什么来符合其规定。

到2022年3月19日，任何拥有10名或更多员工的企业如果导致加州的员工或消费者接触到三氧化钼，必须在产品标签上加注清晰合理的警告或在工作场所张贴警告标志如：“警告：该产品含有化学物质包括三氧化钼，它是加州已知致癌物”。想了解更多信息，请访问 www.P65Warnings.ca.gov。

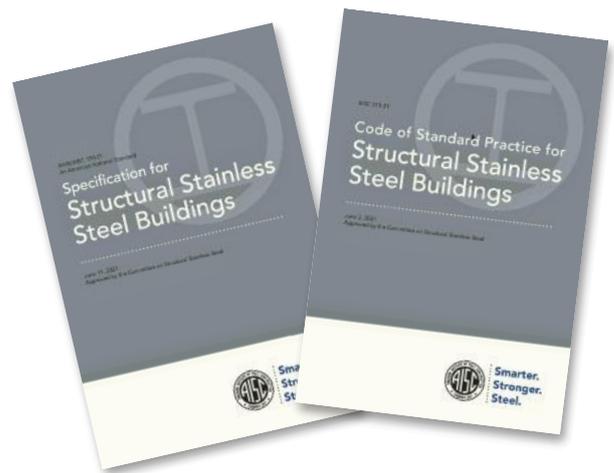
65号提案的正式名称是《1986年饮用水安全与毒性物质强制执行法》，因此也禁止加州企业在知情的情况下向饮用水源排放大量的法案所列化学品。

钼供应链概况发布

可持续发展咨询公司（TDi Sustainability）与IMOA合作，于2021年11月出版了《供应链尽职调查和负责任采购之钼概述》。该文件为利益相关方提供了对钼供应链的清晰认识，因为它涉及到环境、社会和公司治理（ESG）等方面。它报告了ESG对行业参与者的影响，以及目前适用于钼的负责任采购标准、认证和倡议，可从IMOA网站下载。

AISC不锈钢标准

ANSI/AISC 370-21《不锈钢结构建筑规范》和ANSI/AISC 313-21《不锈钢结构建筑标准操作规范》可从美国钢结构协会|现行标准（aisc.org）免费下载。



这些标准将帮助工程师、选材人员和设计师在各种建筑项目包括桥梁等大型基础设施项目中充分利用不锈钢的优异性能。这些规范意义重大，因为它们是美国第一个针对较大规格热轧和焊接不锈钢型材结构应用的规范。全球许多其他地区的工程师也使用AISC规范。

在过去三年中，IMOA、国际不锈钢联盟顾问Nancy Baddoo（英国钢结构研究所）和Catherine Houska以及钢铁生产商和产品制造商，与AISC密切合作，制定了这些重要的新标准。

IMOA 欢迎

新成员日本先进材料株式会社(AMJ)重返协会。AMJ是日本一家专业贸易公司，专注于稀有金属和小金属包括钼，钼是其主要的贸易商品之一。AMJ表示“我们很高兴能重新成为IMOA的成员”。

IMOA 2020/21年度回顾

IMOA最近发布了2020/2021年度回顾，详细介绍了协会在过去一年中代表其成员开展的活动和取得的成绩。该报告可从IMOA网站下载。

CRU Ryan's Notes铁合金会议

IMOA会员参加今年的Ryan's Notes铁合金会议，可享受15%的参会费用折扣。本次会议将于2022年6月7-8日在荷兰阿姆斯特丹的雅加达酒店举行。欲了解更多信息和注册，请访问<https://bit.ly/3IAZMZA>



IMOA中文网站开通

IMOA网站的中文版(<http://www.imoa-cn.info/>)于2021年秋季上线，它包括IMOA网站的核心内容、受欢迎的IMOA出版物、钼世界杂志、视频及其它更多内容！



德文版奥氏体加工制造指南出版

IMOA发布了 *Verarbeitung austenitischer nicht-rostender Stähle – Ein praktischer Leitfaden*，这是最近更新的奥氏体不锈钢加工制造实用指南的德语译本。这本小册子包含关于如何选择、设计、制造和维护世界上最常用的不锈钢——奥氏体不锈钢的全面信息。它涵盖了从标准牌号到高性能奥氏体不锈钢 (HPASS) 的整个范围。该译本是Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (ISER) (德国不锈钢发展协会) 和IMOA共同努力的成果，并与国际镍协会和国际铬开发协会 (ICDA) 共同制作。可从IMOA网站下载各种语言的版本。

出版者：
国际钼协会
伦敦 Chiswick High Road 454-458号
W4 5TT
www.imoa.info
info@imoa.info
+44 20 8747 6120

主编：
Nicole Kinsman

执行主编：
Karlee Williston

撰稿人：
Karlee Williston (KW), Hardy Mohrbacher (HM),
Robert Bukk (RB), Fabio Ries (FR),

版面设计：
circa drei, Martina Helzel

国际钼协会 (IMOA) 已尽一切努力确保所提供的信息在技术上是正确的。但是，IMOA不代表或不保证《钼世界》杂志中包含信息的准确性或其对于任何常规或特定用途的适用性。请读者注意，本文包含的材料仅供参考；在未获得适当建议之前，不应依赖它或将其用于任何特定或一般应用。IMOA、其成员、员工和顾问特此声明，对因使用本出版物中所含信息而造成的任何损失、损害或伤害不承担任何责任。

封面照片：用起重机将新索德斯特罗姆大桥的一部分吊装到位 © Oki Hiroyuki