

钼世界

2/2024

- 2 双相不锈钢连接泰勒场桥
- 5 不锈钢电缆桥架性能卓著
- 8 农业领域的幕后功臣
- 12 膨胀不锈钢型材
- 14 钼：碳捕集的关键
- 19 IMOA 新闻

双相不锈钢连接泰勒场桥

泰勒场桥横跨洛杉矶河，重新连接起因地理和历史因素长期分隔的两个街区。其大胆、超大的设计，是对该地区曾作为繁忙铁路货场的工业历史的致敬，同时也成为引人注目的地标。纤细的2205双相不锈钢拉杆为这座标志性结构的坚固连接提供了所需的强度和韧性。



泰勒场桥以其大胆的设计——一座高达10米、轮廓鲜明的亮橙色方管桥横跨洛杉矶河，吸引着众人的目光。它远不止是一座功能性桥梁，更象征着人们为恢复河流生机、重建自然河道的巨大努力。20世纪30年代，为控制洪水，人们曾用混凝土将河封砌成一条硬质河道，将两岸社区生硬地分隔开。

这座123米长的桥梁于2021年开放，在这座全球汽车依赖度极高的城市中，为行人提供了一处难得的专属通道。漫步桥上是一个充满感官体验的过程，能欣赏到逐渐恢复生机的河流生态系统和圣莫尼卡山脉的美景。两处悬挑式观景台顺应河道自然曲度而建，人们可在此驻足停留欣赏美景。

全新的过河通道

如今桥梁所在的河段，北岸曾是繁忙的泰勒场铁路货场。多座铁路桥横跨砂石裸露的河床，将铁路货场与更大的铁路网相连，这样的状态持续了约十年。直到20世纪中叶，美国公路系统兴起，铁路货运逐渐转向卡车运输。到了20世纪50年代，废弃的铁路货场沦为斗殴和有组织犯罪的温床。泰勒场桥醒目的橙色，是向电影《斗鱼》致敬，影片中相互争斗的橙色斗鱼，象征着陷入帮派暴力的两兄弟之间剑拔弩张的关系。

攻克初期设计难题

河流和废弃的铁路货场给设计带来了巨大的地理挑战。高压电线和城市限高法规限制了建筑可能的高度，而两侧的检修道路和自行车道进一步压缩了可用的建筑空间。除此之外，两岸混凝土堤岸之间存在3米的高度差，更是增加了设计难度。

为应对这些限制，桥梁主体结构采用36厘米的方管，设计极为简约。桥梁框架由2205双相不锈钢拉杆加固，以提供必要的刚度。这种设计使桥梁能够像单梁结构一样发挥作用，无需设置桥墩或配重。

▶ 泰勒场桥展现出极为简洁优雅的设计，尽管选址位置带来了复杂的限制，依然达到了这一设计效果。该桥由SPF建筑事务所设计



从外部看，承载桥面的橙色箱体保持水平状态，巧妙地隐藏了两岸间3米的高差。桥内通道以3%的坡度延伸，为穿行桥梁的人们营造出一种独特的幻觉——随着在“漂浮”的道路上行进，前方的结构仿佛在视觉中不断变大或缩小。

设计师为什么选用 2205 双相不锈钢？

2205 双相不锈钢（钼含量为3%）因其卓越的强度和耐腐蚀性能而被选为拉杆的材料。虽然316不锈钢等钢种也有足够的耐腐蚀性，但强度不及前者，制成的拉杆需要更粗壮，因此在视觉上更突兀。2205 双相不锈钢的外形纤细，确保了拉杆能与周边环境浑然一体，避免与色彩鲜艳的桥梁上部结构产生视觉冲突。

泰勒场桥设计简洁而大胆，因其引人注目的巧妙设计得到设计界的关注。虽然这座桥为洛杉矶河两岸的行



▶ 车间内待安装的2205双相不锈钢拉杆

人和骑行者提供了重要通道，但目前由于周边地区部分路段尚未完工，它与更大规模的自行车道网络的连接受到限制。该项目的首席设计师 Zoltan Pali 指出：“这座桥在一定程度上促进了社区的发展，也让人们的交流互动更加便捷” 这座桥既是实用的过河通道，也是洛杉矶致力于复兴河流及其周边社区的象征。(KW)

▶ 相对纤细且高反光性的拉杆，确保通行时视野通透无遮挡



不锈钢电缆桥架性能卓著

电缆桥架将混乱的电缆和管道变得井然有序，将杂乱无章的装置变成整洁、高效的系统。从石油平台到食品生产设施，再到隧道基础设施，含钼不锈钢桥架都有着卓越的性能，具备无与伦比的抗腐蚀能力和耐高温特性。

从隧道、摩天大楼，到工厂与住宅，电缆桥架支撑并保护着为现代生活提供电力的电缆，防止电缆遭受破坏、污染及中断。电缆桥架既有基础配置，也有长达数万米的定制安装类型，都能确保安全可靠的功能。它们有多种设计款式，比如全覆盖的实心桥架、用于重型设施的梯形桥架，以及为增加空气流通而设计的开放式网格桥架。虽然铝和镀锌钢是最为常用的桥架材料，但在某些应用场合这些材料无力应对，而不锈钢表现出色。

哪些环境下采用不锈钢桥架至关重要？

腐蚀性环境

海上油气平台和海上风力发电平台的维护颇具挑战性且成本高昂。电缆桥架可在狭小空间内固定并整理好电缆布线，防止电缆松动带来的隐患，同时可在诸如大风等恶劣条件下可靠地工作。它们还减少了难以触达区域的维护需求。选用含钼不锈钢来应对这些挑战，是因为它们具有出色的耐海水和盐雾腐蚀性能，从而减少了频繁维护的需要。

虽然涂层碳钢部件在这些平台上仍然较常用，但在腐蚀性较强的环境中，含钼不锈钢因其卓越的耐用性和更低的生命周期成本而更受青睐。海上平台的上部电缆桥架常常采用钼含量2%的316不锈钢。在法国大西洋沿岸的布雷斯特进行的为期五年的暴露试验中，316不锈

啤酒厂中开放式的金属丝网状电缆桥架便于空气流通，减少了细菌滋生的机会。



钢的表现优于钼含量较低的经济型双相不锈钢。钼含量3%的2205双相不锈钢表现出了更为优异的性能，这一点在迪拜进行的为期四年的海边暴露试验中也得到了印证。只有钼含量3.5%的2507超级双相不锈钢能做到始终完全没有锈迹，证明了其无与伦比的抗腐蚀能力。

高温环境

诸如锅炉、熔炉或热交换器附近等高温环境，需要能够保持稳定且能抗老化的材料。不锈钢在这样的环境中表现优异，尤其是含钼的不锈钢牌号，这使其成为在热负荷大的应用场景中最耐用的电缆桥架材料。

尽管所有材料在高温下强度都会减弱，但不锈钢即便在着火的情况下仍能保留较高的强度。在400°C时，不锈钢的强度依然比室温下的低碳钢要高，而且316不锈钢在较高温度下的表现优于不含钼的304不锈钢。这些特性使得不锈钢在安全性和耐用性至关重要的高温及易发生火灾的环境中必不可少。

卫生应用领域

不锈钢在食品和饮料行业至关重要，因为不锈钢表面光滑、无孔隙，能够抑制细菌滋生，并确保可以彻底清洁。它耐用且易于消毒，成为对卫生要求严格的应用场合的理想之选。304不锈钢应用广泛，316不锈钢更适用于腐蚀性环境如番茄酱、酱油或盐渍类产品的生产。生产过程中产生的盐分和酸性物质等成分可能会散布在空气中，并沉积在电缆桥架上，从而增加腐蚀的风险。

在这些环境中的电缆桥架还经常会直接接触腐蚀性的清洗剂（冲洗或喷雾）。清洗剂通常含有氯化物或酸，会腐蚀耐蚀性较差的材料。随着全球卫生标准的提高，无论是食品生产还是制药以及医疗健康设施等对无菌性要求高的应用场所，不锈钢电缆桥架正变得愈发不可或缺。

助力全球最具挑战性的铁路隧道

汽车和火车交通隧道是含钼不锈钢电缆桥架的另一个重要应用领域，在这些难以触达的地方，含钼不锈钢电缆桥架可降低因潮湿、火灾以及维护受限所带来的风险。隧道内通常湿度较高，足以让腐蚀成为一个严重的问题。例如，瑞士的勃朗峰隧道湿度水平范围是40%–95%，远高于环境中大多数盐类开始产生腐蚀

性的临界值。尽管隧道内湿度很高，但由于存在易燃物、空间密闭和虽然差，隧道内也面临着重大的火灾风险。尽管火灾的发生较为罕见，但其破坏力可能是毁灭性的：1999年勃朗峰隧道发生的一场火灾造成29人死亡，维修费用高达4.5亿欧元。

316不锈钢良好的防火性能有不少证据可证明，发生火灾时，它能降低碎片掉落和结构坍塌的风险。正是出于防火性能方面的考虑，瑞士的圣哥达基线隧道（世界上最长和最深的铁路隧道）的紧急疏散通道沿线，安装了316不锈钢电缆通道和扶手支撑部件。2016年，安装了8000多米的电缆槽和6万个支撑部件。隧道维护本来就有困难，特别是偏远山区或交通流量大的区域，关闭隧道进行维护会扰乱正常运营，这凸显了不锈钢这类耐用且维护需求低的材料的重要性。

316不锈钢电缆桥架还将用于世界上最具挑战性的隧道工程之一：位于印度喜马拉雅地区的乌德汉普尔-斯利那加-巴拉穆拉铁路连接线（USBRL）。这条铁路包括100多公里的隧道，该线路连接查谟和克什米尔，打通了一条穿越崎岖山地、人口稀少的多山地区的通道。这里不仅维护工作极其困难，而且还面临着潮湿和工业废气所带来的严重腐蚀风险。基于不锈钢耐腐蚀性能好、使用寿命长以及维护需求低的优点，所以采用了大约6000吨厚度为2毫米、2B表面的冷轧316不锈钢电



© SBB Historic, Angel Sanchez, Altdorf

› 圣哥达基线隧道中的不锈钢电缆通道承载着布线并支撑着复合逃生扶手

缆桥架。它将成为印度最长的交通隧道不可或缺的一部分，该隧道将于2025年开放。

含钼不锈钢电缆桥架凭借其卓越的抗腐蚀性、高温稳定性以及卫生特性，在可靠性和耐用性至关重要的场合必不可少。从隧道、海上平台到制药及卫生设施，不锈钢电缆桥架在不容许出现故障的严苛条件下可确保安全和良好的性能表现。（KW）

› USBRL铁路隧道中新安装的316不锈钢电缆桥架



© Jindal Stainless



农业领域的 幕后功臣

在当今快速变化的农业大环境下，高效且可持续的作物生产比以往任何时候都更加重要。肥料通过提供有助于植物生长和增产的营养物质，成为满足这一需求的关键。其中，钼——虽然只需微量——却发挥着至关重要但常被忽视的作用。



植物的健康生长与繁殖依赖多种必需元素。这一认知最早由19世纪化学先驱尤斯图斯·冯·李比希（Justus von Liebig）提出，其研究揭示了植物如何从土壤与空气中吸收养分。需求量大的营养元素称为大量元素，需求量较小的则称为微量元素。氮无疑是作物最重要的大量元素，然而，即使土壤和空气中氮含量丰富，植物若缺乏足够的钼，也无法有效利用氮。

钼对全球主要作物如谷物、豆类和叶菜类蔬菜，发挥着尤为重要的作用，因为这些作物对氮的需求量极高。虽然钼作为微量元素的必要性已得到公认，但最新的研究表明：即使极少量地施用钼酸盐肥料，也能显著改善作物的健康状况并提高产量。

植物如何利用钼

植物依赖钼，因为钼能使它们通过固氮和硝酸盐同化等过程，将氮合成转化为可利用的形式。如果没有足够的钼，这些重要过程就无法发生，进而阻碍植物生长并降低产量。例如，在大豆和鹰嘴豆等豆科植物中，钼是固氮酶的关键组分，固氮酶帮助固氮细菌将空气中的氮转化为氨，这是植物能够利用的一种氮的形式。此类植物在根瘤中与根瘤菌形成共生关系，而钼酸盐是根瘤发挥作用所必需的。这一过程使豆科植物能够利用空气中的氮来生长，部分氮还会留在土壤中，提升土壤肥力并减少对合成肥料的需求，助力可持续农业的发展。

作为硝酸还原酶的组成部分，钼还能帮助将土壤中的硝酸盐转化为亚硝酸盐，植物可进一步将其加工为氨并最终转化为蛋白质的构成单元——氨基酸。依赖土壤中的硝酸盐作为氮来源的作物，如花椰菜和甜瓜，如果缺乏钼，就无法有效地合成蛋白质。充足的钼还能促进蛋白质的合成和叶绿素的生成，它们对于光合作用和植物的健康生长都至关重要。

缺钼与施肥

虽然缺钼并非普遍问题，但在酸性、风化或沙质土壤地区，这是一个严重问题。这类土壤常见于热带、亚热带和干旱地区，包括南美洲、非洲、东南亚和澳大利亚的部分地区。当土壤中钼缺乏时，农作物的产量可能因氮的吸收受到限制而大幅下降。例如澳大利亚农田土壤中钼含量不足，导致谷物产量下降高达30%。而解决缺钼问题能带来显著改善，埃及的一项研究表明，给柑橘树施用钼肥，产量提高了三分之一以上。

植物必需营养元素

大量元素：

氮(N)、磷(P)、钾(K)

中量元素：

钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)

微量元素：

铁(Fe)、硼(B)、氯(Cl)、锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)、钼(Mo)、镍(Ni)

在某些情况下，土壤中钼含量虽然充足，但却无法被植物吸收利用。当土壤呈酸性（pH值<5.5）可出现这种情况。多数情况下，施用石灰或白云石可缓慢纠正这个问题，但通常需要几个月，速度不够快而不具备可行性。除非石灰改良剂能带来其它益处，否则施用钼酸盐肥料往往更快捷更经济。

➤ 钼缺乏症状包括花期延迟、生长迟缓、叶片发黄和种子产量低

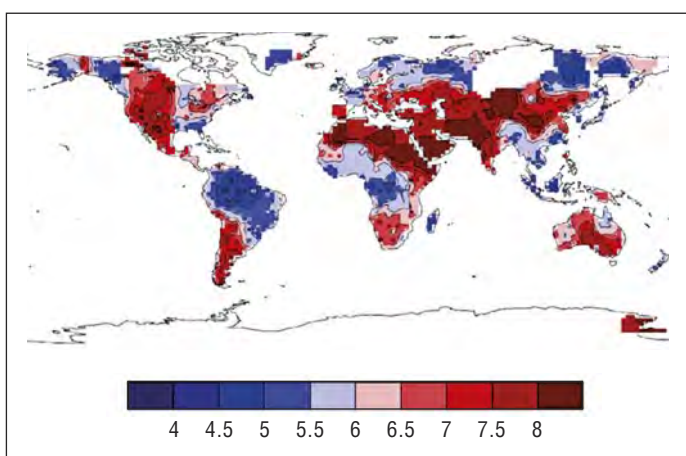


© Alandmanson via Wikimedia Commons

尤斯图斯·冯·李比希：化肥之父

我们如今对钼在农业中重要性的认知，建立在19世纪化学先驱尤斯图斯·冯·李比希的研究基础之上。李比希1803年生于德国，他是最早倡导通过人工补充养分来提升土壤肥力和增加农作物产量的人之一。他挑战了当时的主流理论，证明植物的健康生长需要土壤中的矿物质养分，他确定了氮、磷、钾等必需元素，为现代施肥方法奠定了基础。李比希最具影响力的贡献之一是“最小养分定律”，也称为“李比希定律”，它指出，植物生长受限于最稀缺的营养元素，而非现有资源的总量。

李比希最具影响力的贡献之一是“最小养分定律”，也称为“李比希定律”，它指出，植物生长受限于最稀缺的营养元素，而非现有资源的总量。



全球土壤酸碱度分布© Meng et. al via ResearchGate

钼酸盐主要以钼酸钠 Na_2MoO_4 和钼酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 的形式添加到肥料中。这些化合物极易溶于水，易被植物吸收。钼酸盐的施用方法有多种，包括：

- 土壤施用，将钼酸盐混入土壤供植物根系吸收
- 叶面喷施，将钼直接喷洒到植物叶片上，快速缓解钼缺乏。
- 种子处理，即在播种前用钼酸盐进行种子包衣，确保幼苗在发芽和生长过程中能即时获取钼元素。

钼酸钠或钼酸铵通常少量使用就有效果。监测土壤中的钼含量并了解不同作物的具体需求，对于避免过度施肥十分重要。

提高作物产量

近期研究发现，增加钼酸盐肥料的使用能够提升农业产出。例如，中井和丸山-中下报告称，用40ppm（最高测试浓度）钼肥喷洒干豆叶片，可使种子产量提高80%以上。同样，奥斯曼等人发现，鹰嘴豆施用钼酸盐改良剂后产量显著提高。这些研究结果凸显了钼作为微量元素在作物生产中的关键作用。

添加微量钼酸盐即可带来显著经济效益，作物增产和节省肥料所带来的收益远超成本。钼酸盐通过增强固氮作用，还有助于最大程度地减少肥料浪费和养分流失。钼酸盐无论是作为合成肥料、有机改良剂，还是土壤接种剂的组成部分，都在优化养分利用效率与推动可持续农业发展方面发挥了关键作用。

大豆案例研究

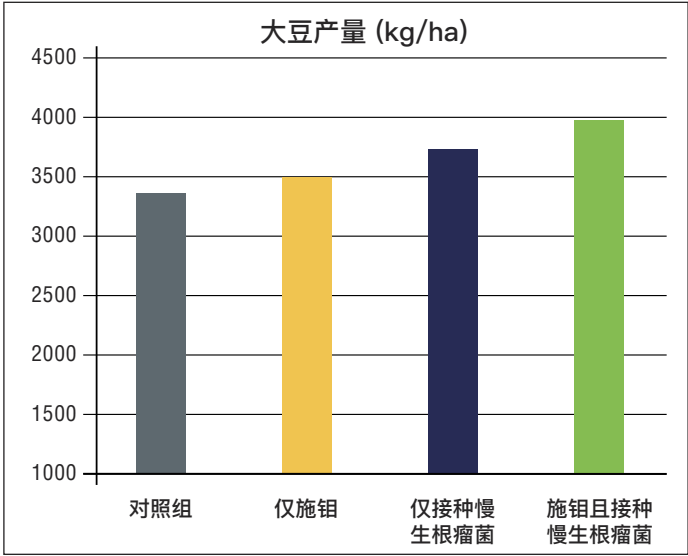
大豆是全球最重要的植物蛋白和植物油来源，其种植面积达1.2–1.3亿公顷，约为英国国土面积的五倍。最大的生产国包括美国、阿根廷、中国和巴西，目前巴西在全球大豆产量和出口量方面居于首位。在2021–2022种植季，巴西的大豆产量高达1.24亿吨。

巴西大豆种植的核心产区是塞拉多草原，属热带稀树草原。该地区土地及开垦成本较低，且容易实现机械化作业，但由于降雨量大，这里的土壤是世界上最古老且淋溶作用最严重的土壤之一。种养分损耗导致它们成为肥力最低的土壤之一，需要大量补充钼等矿物质。持续耕种使这问题进一步恶化，凸显了科学有效施肥的重要性。

鉴于大豆的重要地位，在不扩大耕地面积的前提下提高产量至关重要。近期研究探索了微量元素与有益微生物在提高土壤肥力方面的协同作用。2023年，亚雷茨基研究发现，接种慢生根瘤菌并补充钼的大豆生长状况改善，氮含量和种子产量提高，综合提升了作物的品质表现。给大豆接种慢生根瘤菌可增强生物固氮作用，尤其是在缺乏本地细菌种群的土壤中。钼通过促进结瘤和氮吸收，进一步助力这一过程，最终实现更高产量。

应对不断变化的挑战

随着农业面临愈发复杂的挑战，如气候变化、土壤退化以及资源限制，钼酸盐在肥料创新领域的作用日益凸显。当前的研究致力于揭示钼与植物及土壤微生物群的相互作用机制，优化肥料配方，并开发可持续的实践方法以充分发挥钼酸盐的潜力。这些努力旨在推动全球粮食安全与生态保护的协同发展。(JT)



一棵健康的大豆植株，不仅对于食品至关重要，而且对化妆品、清洁剂、塑料、油漆甚至蜡笔都很重要



© shutterstock/nnattalli



膨胀不锈钢 型材

NAWA 展馆是艺术与建筑的迷人融合，吸引着游客漫步其中。其镜面抛光的316不锈钢拱门会随着光线的变化和季节的更迭，呈现出流动与变幻的视觉效果，与周围环境的生机相呼应。



达利奥瓦岛是波兰弗罗茨瓦夫市奥得河沿岸十几个岛屿中最小的一个。它位于市中心的黄金地段，四周绿树成荫，曾长期被视作一座“被遗忘的”岛屿。由齐耶塔工作室（Zieta Studio）打造的壮观的NAWA 展馆，让达利奥瓦岛重新焕发生机，这里摇身一变成为集会场所和活动场地，进而成为这座蓬勃发展的城市不可或缺的一部分。

这座隧道状的建筑由 35 个拱门依次排列而成，高度从4.5米至7.5 米不等。拱门向上逐渐收窄的造形，借鉴了附近建筑富有历史感的拱顶设计。这些拱门造型共同构成了一个仿佛从地面生长出来的有机形态，与河流及周边自然环境和谐相融。

超乎想象的轻盈，令人惊叹的坚固

这些拱门采用一种名为FiDU的技术制造，FiDU源自德语“Freie Innendruck-Umformung”，意为“自由内压成型”。在生产过程中，先将两张或多张经过激光切割的薄金属板沿边缘焊接在一起，然后向扁平的金属板吹入高压空气，使其从二维形状转变为可直接使用、超轻又坚固耐用的三维结构。

这一看似简单的工艺是多年研究的结晶。2008年，齐耶塔工作室的创始人奥斯卡齐耶塔首次运用自己研发的这项新技术，制作出一款名为“Plopp”的凳子。如今，这款凳子与其他采用FiDU技术“吹制”成型的作品共同在世界各地著名的艺术和设计博物馆展出。工作

在造船厂制造拱门，利用其宽敞的空间和奥得河的水运便利



镜面抛光的 stainless 拱门形成了一个门廊式的通道，反射效果引人入胜

室已开发打造出各种物件包括镜子、灯具、家具和雕塑。NAWA 展馆总重量11.2 吨，尺寸为 7.5 米 ×10 米 ×11 米，是目前为止采用 FiDU 技术完成的最大的项目。

可控的失控

该工作室以液压成型技术为起点，即利用液体在高压下将金属管压入模具，如今也开始采用高压空气作为成型介质。在FiDU工艺中，最终形状通过参数化计算实现而无需使用昂贵的模具。金属根据自身特性自由变形，表面会出现难以预测的起伏波纹。虽然工程师和行业标准将这些曲线变形视为缺陷，但奥斯卡·齐耶塔却称之为“可控的失控”。

尽管316不锈钢的厚度仅为 2 毫米，却能抵御人为破坏，并且在潮湿的河畔气候环境中具备所需的耐腐蚀性。FiDU 技术仅用这一种材料，就能制造出轻盈、便于运输的型材，这些型材经气压成型后可成为高强度的承重结构。这项技术有望突破艺术和设计领域，为工业应用开辟道路。正如 NAWA 展馆所展示的那样，含钼不锈钢将是FiDU未来发展的重要组成部分，以耐久性、简洁性和强度的结合驱动创新。（MH）



钼：碳捕集的关键

随着全球致力于实现气候中和，碳捕集、利用与封存（CCUS）技术成为通往可持续未来的重要桥梁。通过从工业流程中捕获二氧化碳（CO₂）并进行封存或再利用，CCUS可阻止有害气体进入大气。该技术的可靠性和耐用性，离不开含钼材料的应用。



应对气候危机并在2050年前实现净零排放，是当今时代面临的重大挑战之一。向可再生能源转型、提升能源效率、发展碳中和技术是关键解决路径。在此过程中，CCUS 技术已成为从源头捕获二氧化碳排放的核心策略。

碳捕集、利用与封存（CCUS）技术是指从工业或发电设施排放的废气中捕获二氧化碳，并将其运输至封存或再利用设施。二氧化碳或安全封存于地下，即碳捕集与封存（CCS），或进行工业再利用来生产化学品、合成燃料及建筑材料。这一双重路径不仅从源头减少了排放，还能降低对原生化石燃料的开采需求，从而进一步削减下游产业链的碳排放。然而，CCUS技术的成功高度依赖于其基础设施的质量与安全性，而钼在其中发挥着关键作用。

脱碳面临的障碍

实现全面脱碳仍面临重重挑战。生活水平提升与数字化发展使全球能源需求持续增长，减排压力随之加剧。钢铁生产等碳密集型和能源密集型行业正在探索用可再生能源制氢气替代焦炭的解决方案。虽然试点项目正在进行中，但可能还需要数年时间才能使这类技术在全球范围内普及。

玻璃制造、乙醇生产、发电、氢气与合成氨、化肥生产、天然气加工和其它化学加工行业，尽管脱碳的努力不断加强，但CO₂排放问题依然严峻。

而在某些情况下，一些工业流程（如水泥生产）的CO₂排放难以避免。石灰石在焦炭炉中需加热至1500°C，虽然焦炭的燃烧会排放CO₂，但大部分（约三分之二）的排放来自于石灰石本身在煅烧过程中所释放的CO₂。

处理二氧化碳面临的挑战

虽然纯净、干燥的CO₂不具有腐蚀性，但CCUS系统捕获的CO₂中通常含有水、氧气和硫化物等杂质。在液化过程中，这些杂质会凝结成硫酸、硝酸、碳酸和盐

酸等腐蚀性酸性溶液，严重损害管道、储存设施和其他CCUS组件。

除腐蚀问题外，流体突然减压会导致液态二氧化碳在膨胀时急速冷却，有时温度可低至-80°C，这种现象称为焦耳-汤姆逊效应。这种快速冷却可能引发脆性断裂，即材料在低温下由于韧性降低而突然发生灾难性失效。运输低温液态含杂质的二氧化碳时，脆性断裂风险同样显著。

为了应对这些挑战，奥氏体和超级奥氏体不锈钢或镍基合金等无韧性-脆性转变的材料可满足要求，它们既具有所需的低温韧性，又具有良好的耐腐蚀性能。双相不锈钢和超级双相不锈钢耐腐蚀性能优异，已成功用于CO₂注入井。尽管它们在零度以下的温度会发生韧性-脆性的转变，但双相不锈钢具有非常高的强度，适合在特定的环境条件下使用。

➤ 选择与环境适配的不锈钢可提升安全性，并有助于确保较长的使用寿命



© BUTTING Gruppe GmbH & Co. KG



》 世界各地都在开发碳捕集项目，图为冰岛的碳捕集项目

碳捕集技术

碳捕集利用化学吸收或类似技术将二氧化碳从工业排放中分离出来。例如，化石燃料发电厂的燃烧后捕集（PCC）装置使用单乙醇胺等胺基溶剂来选择性地吸收烟气中的二氧化碳。PCC 装置包括一个吸收塔（用溶剂捕集二氧化碳）和一个解吸塔（加热将二氧化碳从溶剂中释放出来并收集），再生后的溶剂可循环使用。

与从工业排放中分离出二氧化碳的基于工艺流程的碳捕集不同，直接空气捕集（DAC）可直接从大气中去除二氧化碳。这种技术吸取空气，使其通过液体或固体吸收介质，再利用热和真空技术释放捕获的二氧化碳以备运输和封存。在运输和储存方面，DAC 遵循与其他碳捕集方法相同的原则。

碳捕集与封存（CCS）技术最初的设想是将二氧化碳捕集装置与压缩、运输和封存系统直接集成在各个单独的设施（如发电厂）内部，并将它们设置在紧随排放控制系统之后。但是如今更为推崇的方法是采用“集群”式CCS网络。在这些网络中，多个二氧化碳排放源通过管道系统连接，管道系统从不同来源收集二氧化碳，并将其输送到集中化的分离、清洁和液化设施。由于二氧

化碳中含有各种可能具有腐蚀性的杂质，采用铝合金化的耐腐蚀管道和设备至关重要。通过共享基础设施，CCS集群可显著降低单个二氧化碳排放设施的设备成本。

》 这种直接空气捕集设备可从大气中提取二氧化碳



案例研究：北极光合资企业

北极光合资企业是壳牌、挪威国家石油公司和道达尔能源三方合作的一个碳捕获与封存项目，旨在从多个源头收集、液化并运输二氧化碳。两艘7500立方米的液化二氧化碳运输船将把二氧化碳运送至挪威西部于尔加登的一个接收终端。该技术借鉴了液化天然气（LNG）的运输方式来运输二氧化碳。接收终端部分系统采用316不锈钢制成，二氧化碳在此临时储存，之后通过一条100公里长的海上管道输送至海底2600米深处的咸水层进行安全、永久性的封存。

在注入现场，注入井套管和油管底部200米的部分由两种材料制成：一种是含1%钼的双相不锈钢UNS S82551，另一种是含3%钼的25Cr超级双相不锈钢UNS S39274。这些耐腐蚀不锈钢预计能够承受暂时封井带来的恶劣条件，确保注入井的长期结构完整性以及二氧化碳在地下深处的安全封存。油管和套管的直径可达25厘米。

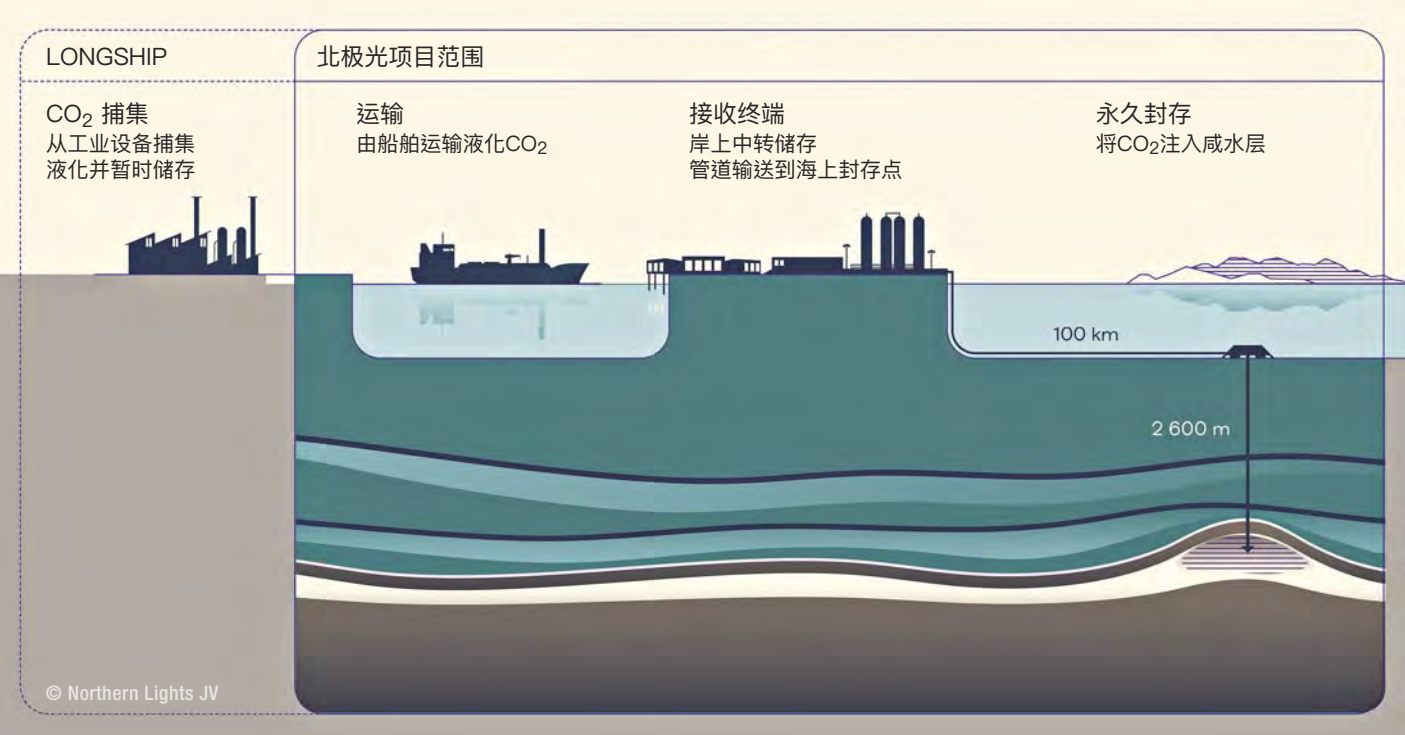
该项目于2024年开始运营，初始年封存能力为150万吨二氧化碳。第一阶段将封存挪威布雷维克一家水泥厂和奥斯陆一家垃圾焚烧发电厂的80万吨二氧化碳。第二阶段封存能力将扩大至500万吨/年以上，包括来



挪威西部Øygarden市的二氧化碳接收终端

自荷兰雅苒国际氨生产厂的80万吨/年以及来自丹麦Ørsted发电厂的43万吨/年二氧化碳，预计未来还将增加封存量。

北极光项目Longship碳捕集与封存价值链



二氧化碳的利用

碳捕集与利用（CCU）技术是对碳捕集与封存（CCS）技术的补充，它将二氧化碳重新用作原料来生产化学品、合成燃料和聚合物，利用捕获的二氧化碳替代天然气或石油等碳氢化合物进行化学合成，从而减少了开采和加工原始化石能源的需求。典型应用包括尿素、水杨酸和聚碳酸酯的生产。

二氧化碳还可助力混凝土生产，它能矿化形成碳酸盐，提升材料的机械强度。此外，二氧化碳在饮料行业中也广泛用于制作碳酸饮料。

CCS与CCUS的设备和材料

除了通常由埋弧焊（SAW）碳钢制成的长距离二氧化碳输送管道外，碳捕集与封存（CCS）以及碳捕集、

➤ 超级双相不锈钢井下管的安装



利用与封存（CCUS）设施还依赖一系列工业加工设备。采用含钼不锈钢制造的部件对于解决腐蚀问题至关重要，尤其是在二氧化碳处于超临界或液化状态时。

根据《AMPP指南21532》，316不锈钢可用于压缩机和冷却装置，这些设备对于二氧化碳的增密或液化至关重要。该指南还提到，316不锈钢可用于输送-80°C的密相或液相二氧化碳的陆上管道。对于更多暴露于氯化物环境的海上和沿海管道，采用含6%钼的不锈钢或涂层316不锈钢更为适宜。

其他设备如阀门、流量计以及吸附塔或解吸塔等，也需要采用不锈钢。合金625是一种含9%钼的镍基合金，可用于井口和采油树，因为在这些地方，回流水和酸性冷凝物会增加腐蚀风险。同时，套管可能会采用低合金钢，通常是含钼钢，如L80碳钢、F22钢或AISI 4130钢。最后，注入井管可采用含3.5%钼的25Cr超级双相不锈钢，它具有优异的强度和耐腐蚀性。

行业现状

全球碳捕集与封存（CCS）研究机构报告显示，全球CCS项目增长迅速，截至2024年中，共有628个设施处于规划或建设中，较上一年增长60%。这些项目的累计二氧化碳捕集能力达4.16亿吨/年，反映出过去七年的复合年增长率为32%。

在已投入运营的50个设施中，美国在CCS部署方面处于领先地位，有19个设施在运营，其次是中国14个，加拿大7个，挪威和冰岛各2个。澳大利亚、巴西、匈牙利、卡塔尔、沙特阿拉伯和阿拉伯联合酋长国各有1个。

欧洲发展迅猛，过去一年中，正在开发的二氧化碳运输与封存设施数量翻倍，达到77个，这一扩张态势凸显了CCS技术在工业化国家中的日益普及。

尽管消除二氧化碳排放仍是终极目标，但部分行业目前仍面临无法避免的排放问题。碳捕集、利用与封存（CCUS）为捕获碳并将其安全封存于地下，或再利用转化为有益用途提供了关键路径。其成功离不开强大坚实的基础设施，而钼对于应对未来挑战所需的韧性和耐久性而言不可或缺。（IR NK）

IMOA 新闻

第 36 届年度会员大会

来自52家会员组织的160名代表齐聚东京，参加国际钼协会第三十六届年度大会。本次会议由会员企业 Taenaka 工业株式会社、Taiyo Koko 株式会社、日本先进材料集团及 Kohsei 株式会社联合主办。与会者在八芳园享受了精美的晚宴款待，有现场音乐表演、互动相扑表演，庭院景致美不胜收。

本年度的演讲内容包括全球及区域市场洞察、台北市不锈钢输水管线项目 20 年研究、钼回收利用前景展望、全球物流现状以及来自成员企业鲍尔能源设计公司的新型净水装置。

大会最后，与会者参观了位于千叶县的新日铁总部——这是全球规模最大的钢铁厂之一，厂区总面积近



12 平方公里。近百名成员参观了其中一座高炉，现场观摩大型钢坯的连铸工艺。钢厂规模宏大，参观讲解细致全面，令人印象深刻。

下届年度大会将由智利国家铜业公司在比尼亚德尔马主办，会期为2025年9月10日至12日。

冶金用钼产品生命周期清单（更新版）

《2024 年度冶金用钼产品生命周期清单与碳足迹更新研究》执行摘要及摘要报告现在可从IMOA官网下载。研究结果以国际钼协会生命周期清单全球平均值形式呈现。参与本次研究的国际钼协会会员企业，提供了来自亚洲、欧洲、北美洲、南美洲共 10 个国家、24 座生产设施的数据，生成了下表所示的生命周期清单碳足迹值。

每种产品每公斤的碳足迹比较

年	单位	辉钼矿精矿 (~50% Mo)	工业氧化钼 (~60% Mo)	钼压块 (~59% Mo)	钼铁 (~67% Mo)
2024	kg CO ₂ -eq	2.84	3.79	4.03	7.41
2018	kg CO ₂ -eq	未计算	4.96	5.04	8.04
自2018年的变化%		无	降低24%	降低20%	降低8%

IMOA 的健康、安全与环境（HSE）主管 Sandra Carey 表示：“2018 年至 2024 年间碳足迹的显著减少，很好地反映了 IMOA 会员公司持续推进脱碳行动的成效。特别是增加使用可再生能源替代化石燃料正在推动这些改进。这些结果将受到下游用户如钢铁行业的欢迎，对于他们来说，钼产品属于范围三温室气体（GHG）排放。”

欢迎国际钼协会新会员

在今年 9 月于东京举行的国际钼协会第 36 届年度会员大会上，五家新会员正式获批加入协会：

- 安塔米纳矿业公司，在秘鲁拥有矿山业务。
- 伦敦化工资源有限公司，英国工业化学品与回收公司。
- 梅特雷克斯公司，荷兰废弃物处理与回收公司。
- 明钻金属有限公司，中国香港地区从事有色金属、黑色金属及稀土金属贸易。
- 汤普森克里克金属公司，在美国拥有焙烧、钼铁冶炼等加工设施。

继我们的年会之后，我们还迎来了 Alleima Tube AB* 加入协会。

这些机构现在可以获取专业的市场洞察、健康安全与环境及监管指导、行业交流平台并有机会影响全球市场发展计划。IMOA 对于每个新成员为协会带来的独特视角感到兴奋。

*将在下届年会上正式批准

“负责任钢铁”组织认可铜标志

过去一年，铜标志组织与“负责任钢铁”组织进行了广泛的讨论，旨在成为其认可的原材料项目之一，从而对供应商的环境、社会及治理（ESG）表现进行可靠验证。“负责任钢铁”现已确认，他们已认可铜标志（包括钼标志），符合其《国际生产标准V2.1》中关于原则三

负责任采购要求的第1、2和3级标准。作为认可流程的一部分，铜标志组织同意了两项先决条件。有关这些条件的更多信息可在此处查阅。

IMOA秘书长 Eva Model 表示：“钼是钢铁价值链中的重要贡献者，因此我们对这一过程的成功结果感到高兴，这促使负责任钢铁组织认可了铜标志。”



钼钢研讨会

首届钼钢研讨会于 11 月 13 日至 15 日在奥地利维也纳举办。过去两年间，IMOA 与奥地利冶金与材料学会（ASMET）紧密合作，筹备本次会议，并邀请了来自钼及钢铁相关领域的多位专家。

30 多位演讲嘉宾分享了钼在钢铁生产中的最新研究成果，议题从钼的物理冶金中基础作用，到它在可持续采矿与生产中的应用价值。



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

封面图片：
曾经粗砺的泰勒场桥，如今因这座时尚的人行天桥而焕然一新 © Mike Kelley

总编辑：
Nicole Kinsman

执行编辑：
Karlée Williston

特约撰稿人：
Karlée Williston (KW), John Thompson (JT),
Martina Helzel (MH), Iris Rommerskirchen (IR),
Nicole Kinsman (NK).

版式设计：
circa drei, Martina Helzel

国际钼协会（IMOA）已竭尽全力确保所呈现信息在技术上的正确性。然而 IMOA 不对《钼世界》（MolyReview）中所包含信息的准确性，或其适用于任何一般或特定用途作出任何声明或保证。敬请读者注意，本刊物所刊载的资料仅供参考；在未事先获得专业建议前，不得依赖或将其用于任何特定或一般用途。IMOA、其会员、员工及顾问明确声明，不对因使用本刊物所刊载信息而导致的任何损失、损害或伤害承担任何形式的法律责任或义务。