

钼在发电厂的应用

超临界和超超临界电厂

钼对可持续发展的贡献：

不锈钢

合金钢

超级合金

铸铁

钼金属

化学品



钼作为一个金属、一种合金元素和化学产品的一个组成部分，对可持续发展作出了重要贡献。国际钼协会（IMOA）的“以少获多”案例研究更深入地探讨了钼是如何促进可持续发展的，在这种增长模式中，资源的利用旨在满足人类需求，同时保护环境。

我们将特别关注某个特定用途或应用是如何为可持续发展的三大支柱贡献力量的：



环境绩效、资源利用、
能源效率、生产和回收



供应链、生命周期和材
料性能



健康、安全和福祉

本研究考察了化石燃料发电厂中，钼在钢铁及超级合金中的应用。钼通过提高材料的高温强度和对含氯烟气的耐蚀能力，使超临界电站和新一代超超临界电站能够在更高的温度和压力下运行，从而提高发电效率，减少当前和未来燃煤发电的二氧化碳排放。

挑战

全球能源需求持续增长，尤其是经济快速增长的国家。可再生能源和低碳资源只能满足全球能源需求总量的有限部分，化石燃料特别是煤炭，满足了大部分的能源需求。预计到2030年，全球能源需求将翻一番，因此这种能源结构将持续下去（图1）。由于燃煤发电厂每千瓦时排放的二氧化碳最多，因此提高效率对于最大程度地减少全球二氧化碳排放至关重要。

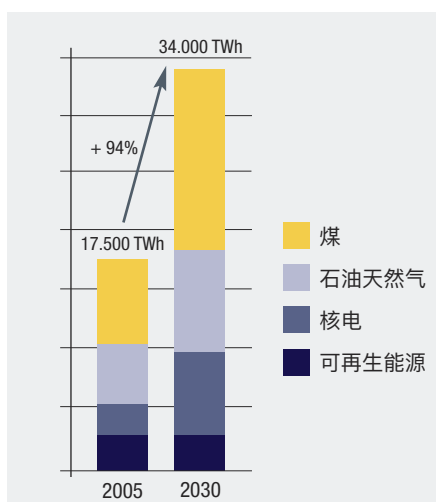


图1 全球一次发电的预期发展 来源：
2010年世界能源理事会

钼如何发挥作用

提高蒸汽温度是提高效率最有效的途径。然而，只有使用合适的锅炉材料才能维持较高的温度。

如果材料长时间暴露在高温和高压下，它会发生“蠕变”，这种变形最初发展缓慢，但随着时间的推移会加剧并最终损坏构件。对锅炉材料的要求是，它能够在运行温度下承受100 MPa的应力至少100,000小时。

解决方案

火力发电厂的效率指净发电量与化石燃料中所含热能的比值。提高蒸汽温度和压力可以提高这一比率。根据蒸汽回路中温度和压力的不同，发电机组分为亚临界、超临界和超超临界（USC）机组。在全球范围内，燃煤发电厂的平均效率目前低于35%。最先进的超临界和超超临界发电机组效率达到45%左右，而700°C发电技术预计将进一步提高效率到50%以上。将效率从35%提高到50%估计可减少约40%的二氧化碳排放（图2）。

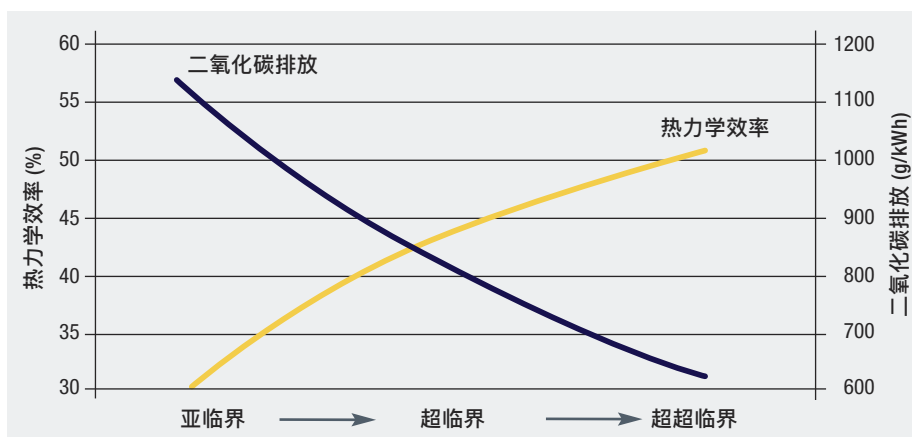


图2 锅炉技术对热力学效率和二氧化碳排放的影响 来源：Vallourec

除了高应力和高温外，锅炉内的运行环境也具有腐蚀性。随着温度升高，锅炉管内部的蒸汽氧化和锅炉管外部的烟气腐蚀变得更加严重。因此，材料的耐高温腐蚀性能也是一个至关重要的特性。

钼是此类材料中一种重要的合金元素，因为它能够提高材料的抗蠕变能力，提高镍合金的抗高温腐蚀性能。

铁素体钢通常与钼合金化，在500℃的运行温度下具有足够的蠕变强度。这些钢材是该系列中最经济的钢材，广泛用于亚临界条件。

已开发出具有更高蠕变强度的贝氏体和马氏体钢，运行温度500℃以上。这些钢中增加了钼含量，并且含有其他合金元素以及较高含量的铬，具有卓越的耐腐蚀性能。钼有助于强贝氏体或马氏体显微组织的形成。这些钢的使用温度限值为650℃。

奥氏体不锈钢用于600℃–670℃的温度。传统上这些钢是不含钼的，但是某些钼含量高达6%的新牌号使这些钢的用途扩展到700℃。

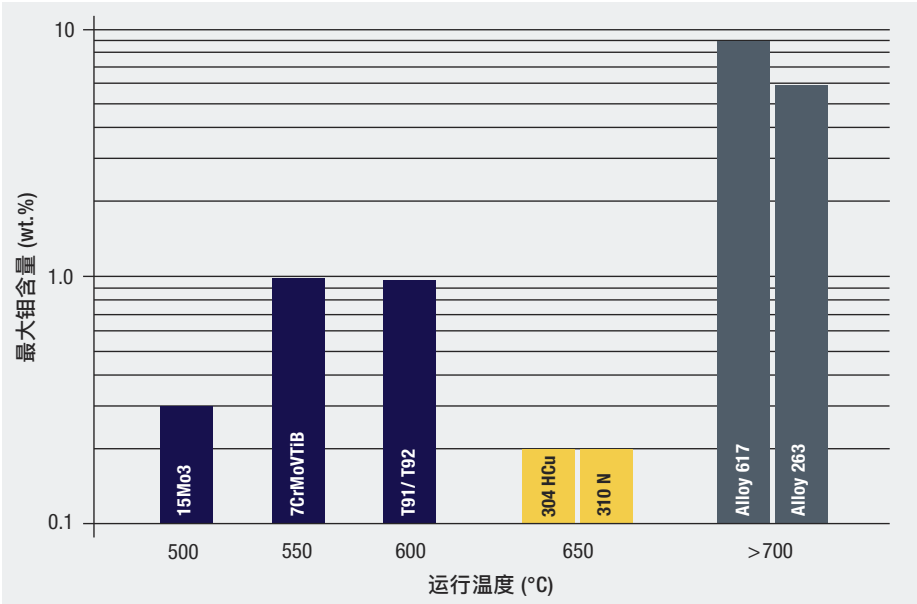


图3 发电厂锅炉所用材料中钼的含量与工作温度的关系

镍基合金如改进型合金617或合金263，是温度超过700℃的首选材料。它们具有足够高的蠕变强度和优异的耐蒸汽侧氧化能力及耐烟气侧腐蚀能力。钼合金化尤其提高了材料对含氯烟气和灰烬的耐腐蚀性能。煤与不同数量的生物质混合燃烧的趋势将导致环境腐蚀性更加恶劣，管道会沉积高浓度的氯化物

盐。镍基合金是所比较的这些材料中最昂贵的材料，一般用于其他任何材料都不起作用的最苛刻的条件。

表1列出了一些设备部件、运行温度和适用材料及其钼含量的实例。

表1 锅炉蒸汽系统设备部件的运行温度、常用材料牌号和钼含量以及吨数

设备部件	运行温度C°	钢种和Mo含量	常用牌号和每个锅炉的吨数*
热蒸汽管道和集热管、热交换器、阀门	530–560	抗蠕变铁素体钢 0.25–0.60% Mo	15Mo3, 16Mo3, 13CrMo4-5 (2000 吨)
膜式壁	520–550	抗蠕变铁素体/贝氏体钢 1% Mo	10CrMo9-10, 7CrMoVTiB10-10 (1500 吨)
过热器、再热器	550–650	抗蠕变铁素体/马氏体钢 1% Mo	X10CrMoVNb9-1, X10CrWMoVNb9-1, X11CrMoWVNb9-1-1, (T/P91, T/P92, E911), 较高 Cr 牌号 X20CrMoV11-1 (1000 吨)
过热器、再热器	600–700	抗蠕变奥氏体 CrNi 残余 Mo	X10CrNiCuNb18-9-3, X6CrNiNbN25-20, X8CrNi19-11, (304HCu, 310N, 347HFG) (500 吨)
过热器、再热器	700 及以上	抗蠕变镍基合金 6–9% Mo	合金 617, 合金 C-263 (500–3000 吨)

* 基于常见的3000吨锅炉的吨数

关键的可持续性优势

优势	可持续性属性		
钼是煤炭可持续利用技术的关键元素，该技术采用清洁煤和碳捕集与封存 (CCS) 技术的优化组合。	 ECOLOGY		 SOCIETY
使用CCS技术的发电厂效率通常会降低 8%–12%，但可以通过超临界或超超临界发电机组效率的提高进行部分补偿。		 ECONOMY	
含钼镍基合金允许生物质和废物的混合燃烧。	 ECOLOGY	 ECONOMY	
钼合金钢有助于提高燃煤发电的盈利能力，确保基本负荷能力并有助于避免停电。		 ECONOMY	 SOCIETY
含钼钢和镍基合金可提高耐用性、减少维护并节约资源。	 ECOLOGY	 ECONOMY	
管材生产包括内部废料和报废废料回收利用，专门分类的废料有助于保存有价值的合金元素如钼。	 ECOLOGY	 ECONOMY	
超超临界机组发电厂为满足发展中经济体快速增长的能源需求提供了可持续的解决方案。	 ECOLOGY		 SOCIETY

小结

未来几年的大部分能源需求可能仍由燃煤发电厂来满足。为了降低因能源需求增加而产生的排放，特别是对于发展中经济体，必须提高燃煤电厂的效率和灵活性。

钼作为合金元素具有重要的作用，为高温下运行的部件材料提供足够的强度，并保护部件免受涉及氯化物的高温腐蚀。

国际钼协会
info@imoa.info · www.imoa.info

© 由 IMOA 与 Hardy Mohrbacher 教授、Niobelcon 和 Salzgitter Mannesmann 合作出品。
封面照片 © Boxberg 发电站，德国/Dergenaue，在德国知识共享署名共享 2.0 CC-BY-SA-2.0-DE 下重复使用。

IMO A/02/14

国际钼协会 (IMO A) 已尽一切努力确保所提供的信息在技术上是正确的。但是，IMO A 不代表或不保证本案例研究所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。IMO A、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。