

钼在水工业中的应用

海水淡化厂

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

本案例研究探讨了含钼不锈钢用于建造海水淡化设施的可持续性优势。钼显著提高了设备装置的耐腐蚀性能，实现了经济高效和可靠的运行，为日益增长的全球人口提供了安全、清洁的饮用水。

挑战

清洁的淡水对生命至关重要，但地球总储量97%的水是不适合人类使用的咸水。事实上，地球上可使用的水只有不到1%是安全的淡水。¹目前，约有30亿人（约占全球人口的约40%）生活在缺水地区，超过7.5亿人（大约十分之一）无法获得安全用水。²

除了饮用水，我们还需要大量的水来种植食物。农业用水约占全球淡水抽取量的70%，在一些快速增长的经济体中可高达90%。³我们还需要干净的水来保持健康，保护我们不生病。联合国估计88%的腹泻死亡是由于卫生设施不足、卫生用水不足和不安全的饮用水造成的。⁴

缺水已经影响到全球40%以上的人口。到2025年，将有18亿人生活在绝对缺水的国家或地区，世界三分之二的人口会用水紧张。⁴

解决方案

和解决任何短缺一样，方案在于减少需求和增加供给，包括节约

用水、水的重复利用和开发新的淡水资源。各国的人均用水量差异很大。节约用水的策略对于已经具备水资源，但不良用水习惯导致水过度消耗的情况最有效。水资源重复利用（主要是废水）是充分利用稀缺水资源的另一种方式，如果要获得供水的可持续性，未来必须大幅增加水的重复利用。这两种策略对于已经具备成熟的供水基础设施的地区最为有效，但并不能解决干旱地区激增的需求。

海水淡化是一种生产淡水的成熟技术，已应用数十年，随着人口增长和生活水平的提高，它的使用也迅速增长。世界各地约有17000家海水淡化厂，每天供应8100万立方米淡水。⁵全球产能的一半以上位于中东。沙特阿拉伯是世界上最大的海水淡化水生产国，满足了其70%以上的城市需求。⁶

海水淡化设施采用热蒸馏或反渗透工艺。在热蒸馏装置中，盐水被加热并蒸发以产生淡水。最常用的方法是多级闪蒸（MSF）和多效蒸发（MED）。

反渗透（RO）系统采用高压泵将水压入使其通过反渗透膜，该膜

允许水分子通过，但阻挡溶解的固体如盐类。大多数反渗透装置在非常高的压力下运行，有些甚至高达8000kPa。

钼如何发挥作用

热蒸馏装置中的高温和高盐度会产生腐蚀性极强的操作环境。早期的设备采用低碳钢建造，但腐蚀

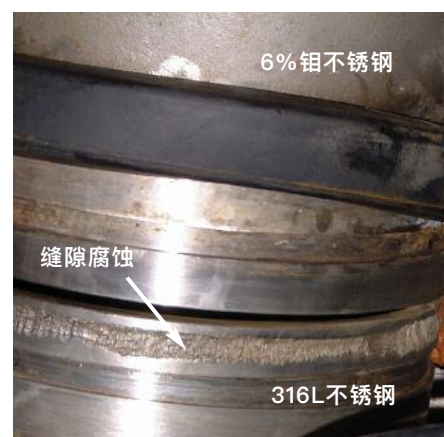


图1 地中海盆地40000 m³/天的海水反渗透装置上的高压管接头。6%钼不锈钢管接头使用了7年，而316L不锈钢管接头仅使用了6个月 © Piedmont Pacific Corp

是一个严重的问题，后来的蒸发器采用含钼不锈钢（如316L）和碳钢的复合材料建造。钼提高了不锈钢在氯化物环境中的耐腐蚀性能。

现代的海水淡化装置采用双相不锈钢建造，通常为2205和2304双相不锈钢。它们都含有钼，由于其高耐腐蚀性能和机械强度，已成为热法海水淡化装置的最佳选材。双相不锈钢的高强度意味着蒸发器容器的厚度和重量可以减少多达30%，与其他耐腐蚀材料相比，所需要的钢材和焊接更少，成本更低。⁷

在反渗透装置中，高压加上海水的运行条件要求材料具有卓越的强度和耐腐蚀性能。沙特阿拉伯和马耳他早期的反渗透装置使用316L不锈钢作为高压管道部件，即使耐腐蚀性有所增强，高压管件仍发生广泛的缝隙腐蚀，两年就需要更换。⁸

对317L、904L和2205双相不锈钢等中级牌号的不锈钢进行了试



图2 以色列阿什凯隆反渗透海水淡化厂 © IDE Technologies

验，但工厂不断报告有点蚀和缝隙腐蚀发生。为了达到必要程度的耐腐蚀性，许多海水反渗透装置都指定采用6%钼不锈钢，包括世界上一些最大的装置如阿联酋的富吉拉。

316L和6%钼不锈钢之间耐腐蚀性的差异如图1所示。

如今超级双相不锈钢已成为该应用的首选材料，例如，2005年竣

工的以色列阿什凯隆反渗透海水淡化厂指定采用2507超级双相不锈钢建造（如图2所示）。

该牌号具有与6%钼不锈钢非常相似的耐腐蚀性能，并且具有更高的强度和更好的抗疲劳特性等额外优势。海水淡化装置最常用的不锈钢牌号成分如表1所示。

表1 半咸水和海水淡化装置常用的不锈钢（名义成分，重量%，余量为铁）

牌号	UNS No.	EN No.	C (最大)	Cr	Ni	Mo	N	其它
奥氏体不锈钢								
316L	S31603	1.4404	0.03	17	11	2.1	—	—
317L	S31703	1.4438	0.03	18	12	3.1	—	—
904L	N08904	1.4539	0.02	19.5	24.5	4.5	—	—
6%钼不锈钢	S31254	1.4547	0.02	20	18	6.1	0.20	Cu - 0.70
	N08926	1.4529	0.02	19.5	24.5	6.1	0.20	Cu - 0.70
	N08367	—	0.03	20.5	23	6.1	0.20	—
双相不锈钢								
2304	S32304	1.4362	0.03	21.5	3	0.3	0.16	—
2205	S32205	1.4462	0.03	22	5	3.3	0.16	—
2507	S32750	1.4410	0.03	25	7	3.7	0.27	—

关键的可持续性优势

优势	可持续性属性		
海水淡化是一种可靠、成熟的技术，在人口不断增长的世界，利用丰富的资源保持供水的可持续性	 ECOLOGY		 SOCIETY
海水淡化厂为缺水地区提供了可靠的淡水供应，提高了健康水平和生活质量	 ECOLOGY		 SOCIETY
钼合金化钢能够抵御海水淡化厂的腐蚀性环境，使其在经济上可行，并避免了定期翻新整修的高昂成本		 ECONOMY	 SOCIETY
由含钼不锈钢建造的热法海水淡化蒸发器容器使用寿命更长，节省了资源和费用	 ECOLOGY	 ECONOMY	
由更坚固的含钼不锈钢制成的更薄更轻的容器，可节省建造和运输方面的资源和能源	 ECOLOGY	 ECONOMY	

小结

全球供水面临人口增长的压力，到2025年可能无法支撑总需求。海水淡化提供了可靠、可持续的淡水供应，提供了部分解决方案。现代海水淡化装置采用含钼不锈钢来保护这些战略资产免受固有的腐蚀问题的影响，否则，由于翻新和更换的频率和高昂的成本，将使它们变得不经济。

1 “水的未来”，《财富》杂志，2009年10月
2 世界卫生组织/联合国儿童基金会JMP报告，2013年更新
3 《2012年世界水资源发展报告》
4 联合国水机制，2014年
5 世界海水淡化协会，2013年
6 沙特阿拉伯皇家大使馆网站，2013年
7 “实体双相不锈钢多级闪蒸室”，Olson J, Jagerstrom V, Resini I, Acom 4/2003
8 “SWRO装置高压管道用不锈钢，性能和经验”，Olson J, Cosic K, Acom 4/2003