

---

# 低温多效蒸馏海水淡化技术在钢铁企业节能减排中的应用

首钢京唐钢铁联合有限责任公司 吴礼云 杨荣力 唐智新 吴刚 孙雪

摘要：结合京唐公司建设海水淡化的实践经验，介绍了 LT-MED 海水淡化在钢铁企业节能减排中作用。不仅可以实现源梯级利用，而且实现工业废水零排放，并通过海水综合利用实现浓盐水零排放及 CO<sub>2</sub> 减排，具有较好的经济效益、环境效益和社会效益，为沿海钢铁企业海水淡化及海水综合利用的建设提供借鉴。

关键词：低温多效蒸馏 海水淡化 钢铁企业 节能减排

海水淡化作为一种淡水增量技术，经过 40 多年的发展，技术日趋成熟，应用地区和规模越来越大，已成为解决沿海国家和地区淡水紧缺问题的一种有效技术手段。目前海水淡化技术有几十种，现阶段国内大规模工程化应用的主要包括以反渗透（RO）为主的膜法海水淡化技术和以低温多效蒸馏（LT-MED）为主热法海水淡化技术。LT-MED 海水淡化技术是指在真空情况下，盐水的最高蒸发温度低于 70 °C 的淡化技术。与其它海水淡化技术相比，其具有以下优势：（1）操作温度低；（2）海水预处理简单；（3）系统操作弹性大；（4）系统热效率高优点。

若将 LT-MED 海水淡化装置与钢铁行业相结合，可实现资源互补协同发展，不但可以保障钢铁企业生产的用水需求，而且对于钢铁企业的余热余能资源有效利用、电及蒸汽系统平衡发挥重要作用，有利于推动钢铁企业技术升级和循环经济模式的形成。本文结合首钢京唐钢铁联合有限责任公司（以下简称京唐公司）建设海水淡化的实践经验，介绍了 LT-MED 海水淡化在钢铁企业节能减排中作用，这种作用主要体现在节水、节能、低碳环保等方面。

## 一、实现能源梯级利用

钢铁工业是国民经济的重要产业，也是耗能大户，能源消耗约占全国工业总能耗的 15%，但能源的利用效率仅为 30%~50%，其余大部分能量转换为各种形式的二次能源。目前我国钢铁企业的二次能源回收率比较低，绝大多数钢铁企业的二次能源回收率未能超过 50%，许多中小钢铁企业的二次能源回收更是刚刚开始，而国外先进钢铁企业对二次能源的回收率均在 90%以上，如日本的新日铁已达 92%。在当前我国钢铁行业面临严重产能过剩和环保要求日益严格的情况

下，如何实现二次能源的有效利用以降低经营成本及减轻环保压力，应成为钢铁企业关注的焦点。

LT-MED 海水淡化技术可以适应多种热源，尤其是低品位热源，如汽轮机发电后的乏汽及高炉冲渣水、循环冷却水、低温烟气等低温热源产生的低品质蒸汽。沿海钢铁企业可以按照“能级匹配”、“梯级利用”的原则，建立以 LT-MED 海水淡化为核心的钢铁企业二次能源利用关键技术，如图 1 所示。

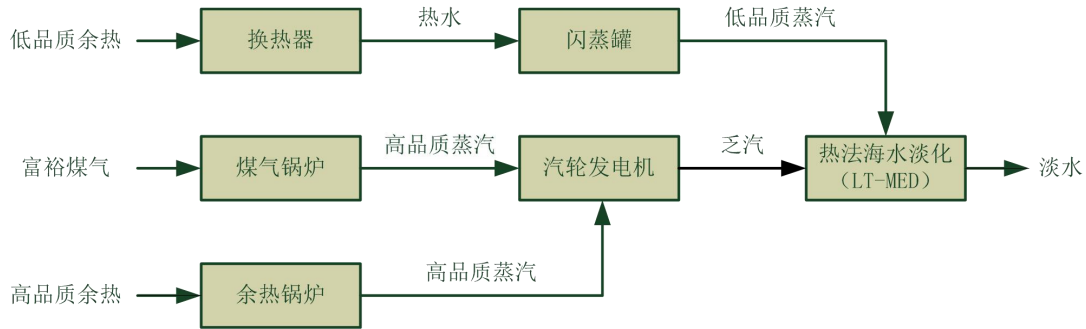


图 1 能源梯级利用示意图

以钢铁企业富裕煤气及其它高品质余热资源（如干熄焦余热、烧结合余热、热轧余热等）为热源，通过煤气锅炉及余热锅炉生产高品质蒸汽，高品质蒸汽首先用于发电，然后再将发电后的乏汽供给 LT-MED 海水淡化装置制备淡化水。此外，低品质余热资源（如高炉冲渣水、循环冷却水、低温烟气等）通过换热器将热量传递给除盐水，除盐水再通过闪蒸罐生成低品质蒸汽供给 LT-MED 海水淡化装置制备淡化水。

京唐公司建有 4 套 LT-MED 海水淡化装置，单套产量为 1.25 万  $\text{m}^3/\text{d}$ 。根据设计，海水淡化蒸汽汽源有 2 种：一是自备电站 300 MW 发电机组汽轮机抽汽，抽汽的压力为 0.6~0.8 MPa、温度 220~250  $^{\circ}\text{C}$ ；二是厂区管网蒸汽，蒸汽的压力为 0.9~1.1 MPa、温度为 250~280 $^{\circ}\text{C}$ ，蒸汽经过减温减压后供给海水淡化装置使用。为进一步发挥 LT-MED 海水淡化装置对低端余热的利用能力，降低海水淡化的制水成本，在其中 2 套海水淡化装置的主蒸汽入口前分别配置了中温中压汽轮发电机组，利用汽轮机末端负压排汽供给海水淡化装置制备除盐水。京唐公司海水淡化前置发电工艺流程如图 2 所示。

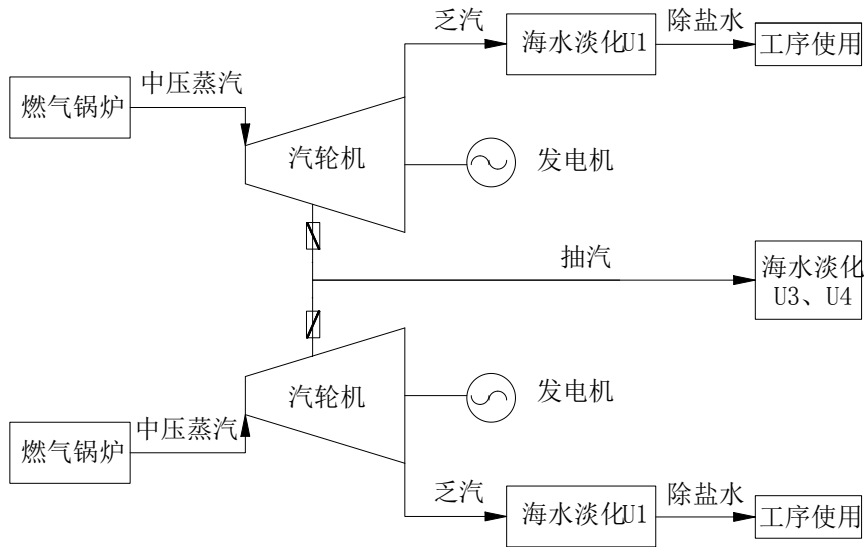


图 2 海水淡化前置发电工艺流程示意图

京唐公司海水淡化前置发电工艺利用 2 台 130 t/h 工业锅炉燃用钢厂富裕煤气，产生中压蒸汽（压力为 3.82 MPa、温度为 450 °C）推动 2 台 25 MW 汽轮发电机组发电，将发电后的乏汽（压力为 0.03~0.035 MPa、温度为 69~73 °C）直接供其中 2 套海水淡化装置制水，同时从汽轮机抽汽（压力为 0.6~0.8 MPa、温度为 220~250 °C）供另外 2 套海水淡化装置制水。该技术充分利用了 LT-MED 海水淡化装置对蒸汽温度要求低的特点，完全取代汽轮机凝汽器，利用被凝汽器循环冷却水带走的部分热量制水，从而将系统热效率提高至 82% 以上，不但降低了海水淡化制水成本，而且还减少了凝汽器及其附属设备的投资及运行费用。

## 二、实现废水零排放

钢铁工业作为我国基础产业，既是用水大户，也是排污大户。随着水资源日益短缺及环保要求越来越高，如何保障供水安全及排污控制成为了钢铁行业的关键问题。解决我国钢铁行业生产用水的重要手段之一就是开发利用非常规水源，如海水淡化、中水及雨水回用等。中水回用是提高水资源综合利用率，减轻水体污染的有效途径之一，既能减少水环境污染，又可以缓解水资源紧缺的矛盾。目前，国内钢铁企业基本都采用膜法将中水进行深度脱盐处理后再回用，但该方法会产生一定量的浓盐水，使用范围狭窄，若直接排放又会造成环境污染。

沿海钢铁企业可以利用临海优势，结合自身能源优势，采用热法海水淡化方式取得优质淡化水，利用淡化水含盐量较低的特点对工业废水中的含盐量进行稀释，使其水质恢复到工业新水水质指标，以达到回用的目的，如图 3 所示。该技术不但实现了工业废水的零排放，而且可以回收市政污水。目前该技术已在京唐

公司成功应用，年可以回收废水 1500 万吨左右。

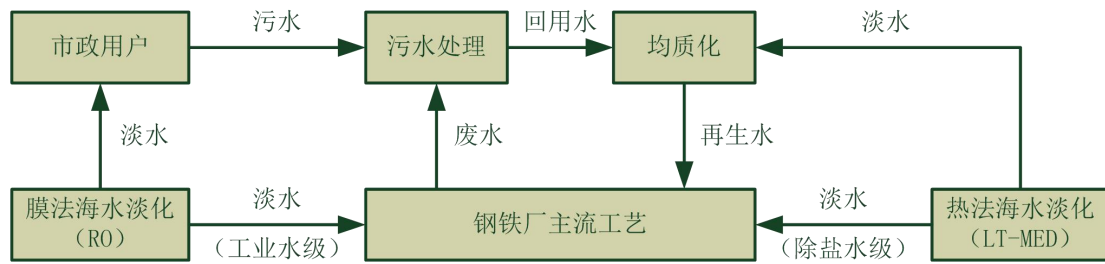


图 3 废水零排放工艺示意图

### 三、实现 CO<sub>2</sub> 减排

海水中存在着大量的钙、镁等离子，在海水淡化过程中，容易形成的碳酸盐及硫酸盐等物质，因其溶解度较小极易形成沉淀，影响热法海水淡化换热管的传热效率及膜法海水淡化膜的寿命，不仅影响海水淡化的正常生产，而且增加能耗和物耗。若能利用 CO<sub>2</sub> 对海水进行预处理，去除海水中的钙、镁离子，不仅可以解决海水过程中的结垢问题，还可以减少了 CO<sub>2</sub> 排放，缓解对环境的污染。钢铁企业一般通过煅烧石灰石（CaCO<sub>3</sub>）以获得炼钢所需的氧化钙（CaO），而副产的 CO<sub>2</sub> 直接排入大气。如图 4 所示，可以利用白灰窑等烟道气中的 CO<sub>2</sub> 对海水预处理，去除海水中的钙、镁等易结垢离子，在实现 CO<sub>2</sub> 减排的同时，并获得碳酸钙（粉末状）及氢氧化镁副产品。其中碳酸钙可以用于烧结混料；氢氧化镁是非常高效的脱硫剂，可用于钢铁企业各个工序环保设施的脱硫，脱硫后产生的硫酸镁可作为化肥原料。这一技术路线在起到固碳、脱硫环保作用的同时，可以将海水中的钙、镁离子去除，对后续海水综合利用也起着十分重要的作用。

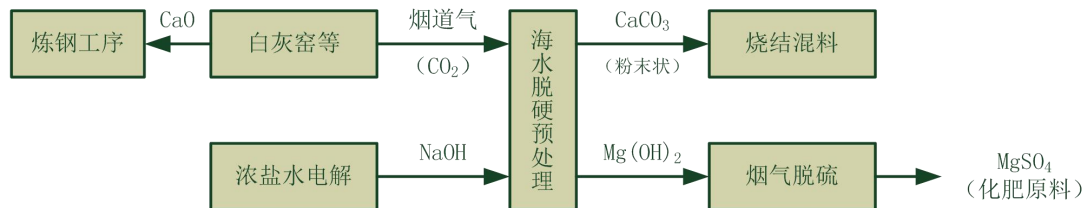


图 4 海水除硬预处理示意图

### 四、实现海水综合利用

目前，我国沿海地区水资源短缺日益严重，近 90% 的沿海城市存在不同程度缺水问题。随着钢铁、化工等耗水企业加速向沿海地区转移，沿海城市缺水问题将进一步加剧。因此，钢铁企业应发挥自身优势，充分利用海水资源，开发海水综合利用关键技术，在解决企业自身用水的同时，实现节能减排，如图 5 所示。



图 5 海水综合利用示意图

海水首先用于自备电站直流冷却系统，产生的温排水一部分用于海水脱硫，其余部分用于海水淡化。用于海水淡化的温排水先通过特殊的预处理系统去除海水中的钙、镁等产生硬度的离子，然后作为反渗透海水淡化的原料水，减小其运行压力。膜法海水淡化产生的浓海水作为 LT-MED 海水淡化的原料水，使浓海水进一步浓缩，提高其含盐量。LT-MED 海水淡化产生的浓盐水作为后续盐化工的原料，提取溴、钾、钠等有用物质，使资源利用达到最大化。

通过该技术路线，一方面充分利用了钢铁企业低温余热资源，提高钢铁企业的能源利用效率，并保障了冬季沿海地区（尤其北方沿海地区）反渗透海水淡化稳定运行；另一方面提高了淡水的回收率，减少了取排水设施的建设规模，有利于建设成本的降低；更重要的是实现了海水综合利用零排放，有效降低了海水淡化的成本，并减少了对海洋生态环境的影响。

## 五、 结语

沿海钢铁企业可以发挥钢铁企业综合性优势，充分利用海水资源，建立以海水淡化为依托的循环经济产业链，实现节能减排，如图 6 所示。

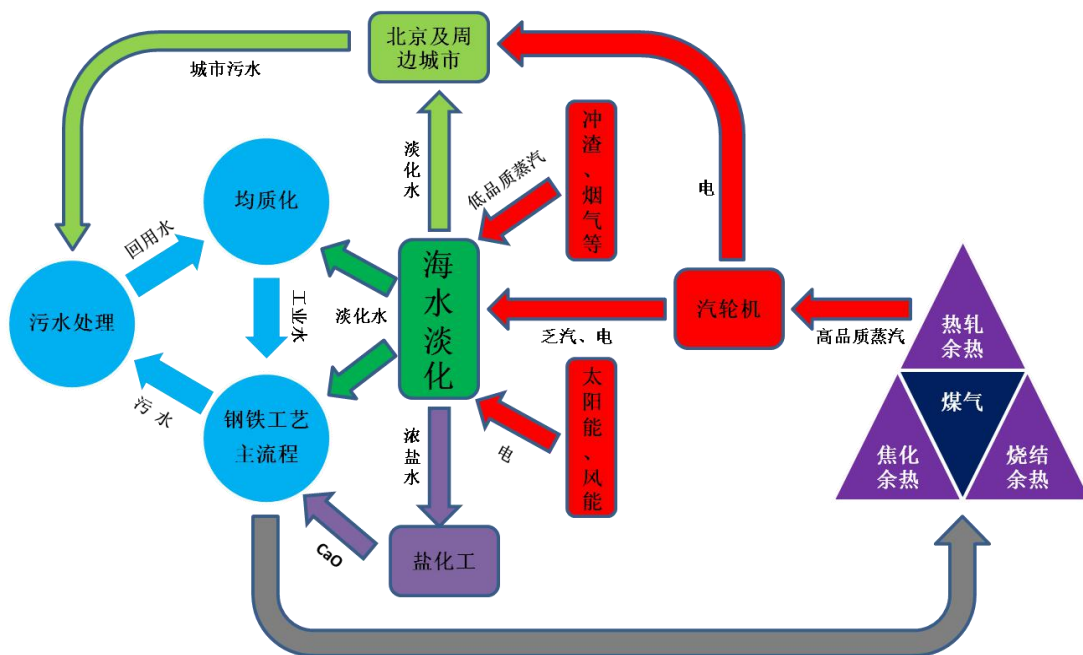


图 6 建立以海水淡化为依托的钢铁企业循环经济产业链

---

该产业链以海水淡化为核心，通过能源梯级利用、海水综合利用、淡水循环利用、低碳环保等关键技术的研发及应用，将发电、海水综合利用、废弃物资源化再利用有机地结合起来，形成一个以海水综合利用为主线，以“热电水盐”联产为特色的完整的资源节约、环境友好、效益显著的循环经济产业链，为沿海钢铁企业海水淡化及海水综合利用的建设提供借鉴。