



# 基于海水淡化的钢铁厂循环经济技术探讨

唐智新,常永富,吴礼云,梁红英

(首钢京唐钢铁联合有限责任公司,河北唐山 063200)

**【摘要】**针对我国钢铁企业加速向沿海地区转移的趋势,重点探讨了几种基于海水淡化的钢铁厂循环经济关键技术。通过这些技术的研发及应用,可以形成资源节约、环境友好、效益显著的循环经济产业链,对沿海钢铁企业节能减排具有指导意义。

**【关键词】**海水淡化 沿海 钢铁厂 循环经济

**【中图分类号】** TQ085

**【文献标识码】** B

**【文章编号】** 1006-6764(2017)02-0029-05

DOI:10.13589/j.cnki.yjdl.2017.02.010

## A Discussion on Circular Economy Technology in Steel Plants Based on Seawater Desalination

Tang Zhixin, Wu Liyun, Liang Hongying

(Shougang Jingtang Iron and Steel United Co., Ltd., Tangshan, Hebei 063200, China)

**[Abstract]** In light of the trend of accelerating transfer of steel plants to coastal areas in China, several key circular economy technologies of steel plants based on seawater desalination are discussed in the paper. Through development and application of these technologies, a circular economy industrial chain of resource saving, environmental friendly and remarkable benefit can be formed, which bears important guiding significance for energy-saving and emission-reduction of coastal steel enterprises.

**[Keywords]** seawater desalination; coastal region; steel plant; circular economy

### 1 引言

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。

随着中国经济的快速增长,综合考虑环境保护、淡水资源、运输成本、土地问题、产业布局等因素<sup>[1-2]</sup>,钢铁产业已加速向沿海地区转移。近年国家已先后批准首钢曹妃甸钢铁基地、鞍钢营口鲅鱼圈钢铁基地、武钢广西防城港钢铁基地、宝钢广东湛江钢铁基地等大型沿海钢铁项目。

海水淡化装置需要消耗大量能源,如与钢铁行业相结合,可实现资源互补协同发展,不但可以保障钢铁厂生产的用水需求,而且对于钢铁厂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,有利于推动钢铁行业技术升级和循环经济模式的形

成。本文结合某沿海大型联合钢铁企业建设海水淡化的实践经验,介绍了海水淡化在钢铁厂循环经济中作用,这种作用主要体现在节能、节水、低碳环保等方面。

### 2 能源梯级利用技术

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<sup>[3]</sup>。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%<sup>[4]</sup>。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海水淡化技术是指在真空情况下,盐水的最高蒸发温度低于70℃的淡化技术,其可以

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,并可根据热源情况,在50%~100%负荷内自动调节。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厂二次能源利用关键技术,如图1所示。

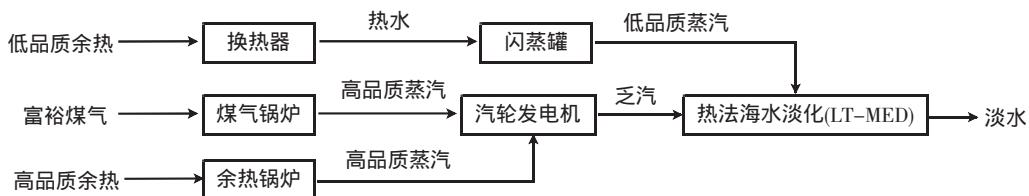


图1 能源梯级利用示意图

以钢铁厂富裕煤气及其它高品质余热资源(如干熄焦余热、烧结余热、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。已在首钢京唐公司成功应用。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。

通过上述技术路线,可以实现钢铁厂二次能源的梯级利用,能源利用率提高至82%以上,热法海

水淡化的运行成本降低了47%,同时节省了为汽轮机设置凝汽器等设备的投资及运行费用<sup>[5]</sup>。

### 3 海水综合利用技术

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,钢铁行业应发挥自身优势,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2所示。

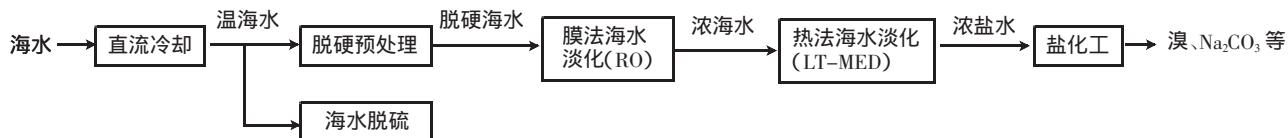


图2 海水综合利用示意图

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厂低温余热资源,提高钢厂的能源利用效率,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。

### 4 淡水循环利用技术

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。目前该技术已在首钢京唐公司成功应用,年可以回收污水1500万吨左右。

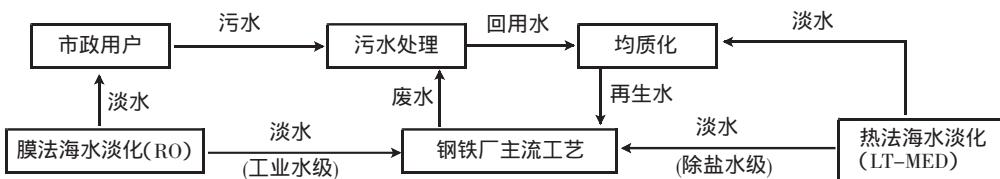


图3 淡水循环利用示意图

## 5 低碳环保技术

目前，因温室效应引起的全球变暖已引起了全世界各国的广泛关注。钢铁行业是能源消耗大户，也是CO<sub>2</sub>排放的主要行业之一，其CO<sub>2</sub>排放量约占全部排放量的12%<sup>[6]</sup>。随着《京都议定书》的签订和因化解钢铁产能对钢铁行业征收碳税政策的实施，探索寻求减排CO<sub>2</sub>的新技术已成为钢铁行业迫切需求。

### 5.1 海水除硬预处理技术

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。钢铁厂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，可用于钢铁厂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。

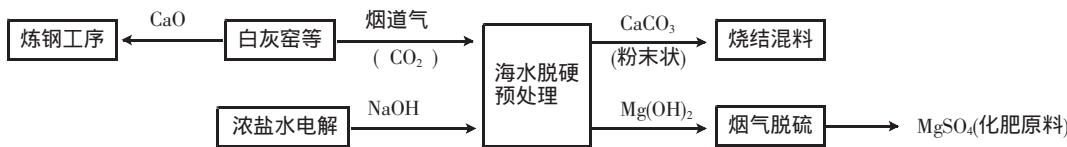


图4 海水除硬预处理示意图

### 5.2 新能源海水淡化技术

新能源(风能及太阳能)发电后必须上网送电，但由于新能源发电具有动态和随机的特性，它给电网运行的电力电量平衡、调峰调频及备用、电压及无功控制、潮流及稳定性、电能质量和二次系统等方面带来影响<sup>[7]</sup>。反渗透海水淡化消耗的能源主要为电能，若将新能源发出的电能就近供膜法海水淡化装置使用，可以给新能源的开发利用带来新的思路及

发展空间，不但可以规避其上网所带来负面影响，而且可以节约煤炭资源，减少CO<sub>2</sub>排放，符合低碳经济的要求。如图5所示，沿海钢铁企业可以利用宽大厂房顶部安装太阳能发电装置，并在道路两侧安装风力发电装置，两者产生的电能直接供膜法海水淡化装置使用，为解决新能源电力不稳定的缺陷，可以采用其它电能(如汽轮发电机所发电能)调整补充。



图5 新能源海水淡化示意图

## 6 浓盐水资源化利用技术

目前，制约海水淡化产业发展的两大关键因素是成本较高和浓盐水排放，为解决这一问题，应将海水淡化与盐化工两个产业结合起来，形成海水综合开发利用，才能共同突破发展瓶颈。如图6所示，先从海水淡化后的浓盐水中提取溴素、钾盐，然后利用

钢铁厂内的烟道气(CO<sub>2</sub>)及氨气(NH<sub>3</sub>)进行制碱，在获得碳酸钠(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)的同时，并获得重要的化肥原料氯化铵(NH<sub>4</sub>Cl)。通过对海水淡化浓盐水资源化利用，不但可以降低海水淡化的成本，而且消除了浓盐水对环境的不利影响，并实现二氧化碳减排。

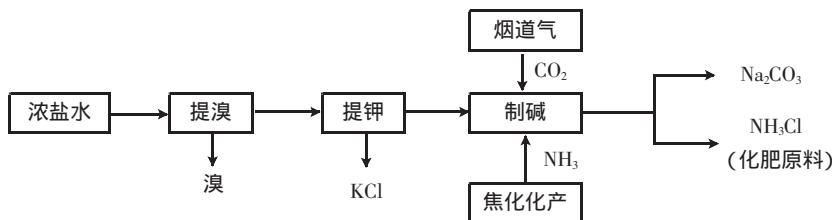


图 6 浓盐水零排放示意图

海水直接电解制氯技术存在有效氯产率低、电流效率低和阳极寿命短等问题，为解决此问题，可以利用软化后的海水淡化浓盐水替代海水进行电解<sup>[8]</sup>。如图7所示，利用汽轮发电机产生的电能电解热法海水淡化产生的浓盐水，分别产生氢气( $H_2$ )、氯气( $Cl_2$ )及氢氧化钠(NaOH)，其中氢气作为保护气体。

用于钢铁厂冷轧工序，氯气用于钢铁厂中的海水直流冷却、循环冷却水及污水处理等系统的杀菌灭藻，氢氧化钠用于海水的预处理系统，去除钙、镁等易结垢离子。通过该技术路线，不但减少了浓盐水的外排，而且可以实现各种物资的自产自销及循环利用。

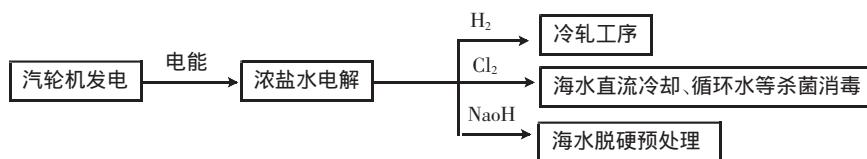


图 7 浓盐水电解综合利用示意图

## 7 建立以海水淡化为依托的钢铁厂循环经济产业链

沿海钢铁企业可以发挥钢铁行业综合性优势，

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，如图8所示。

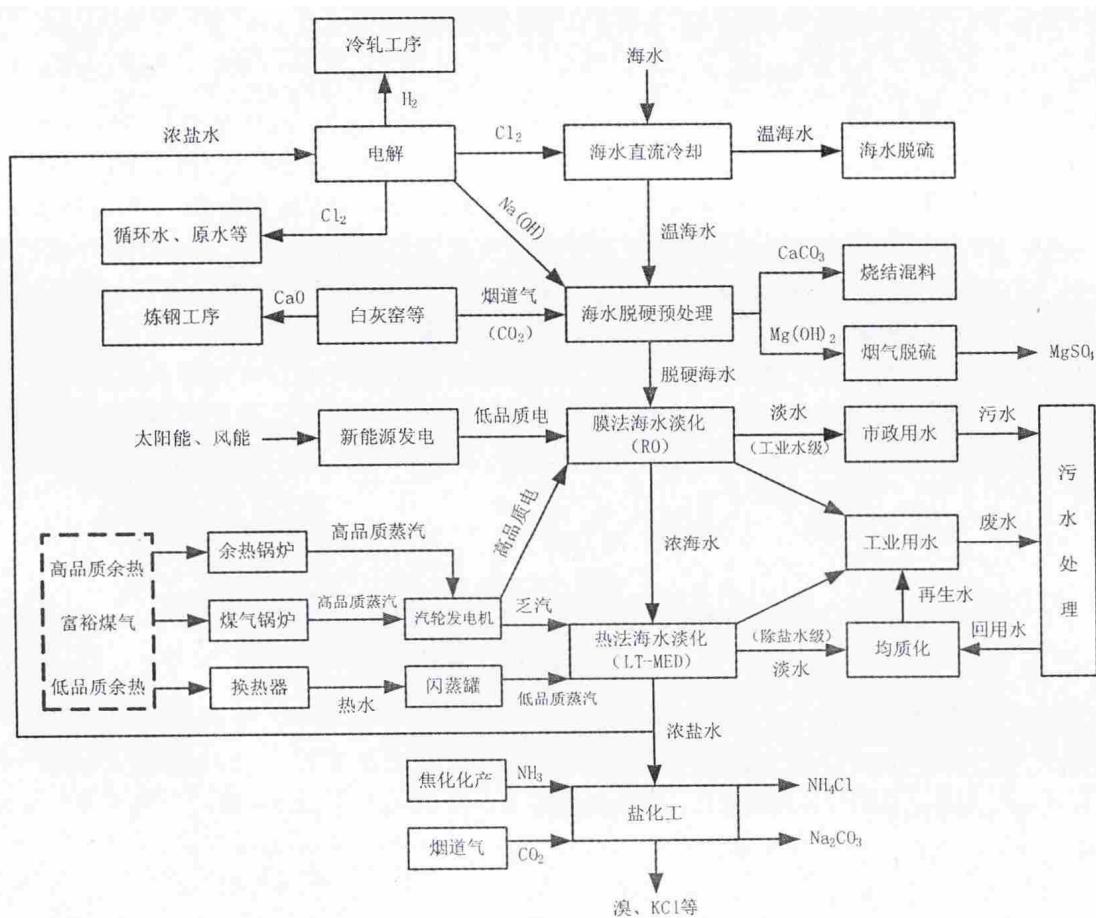
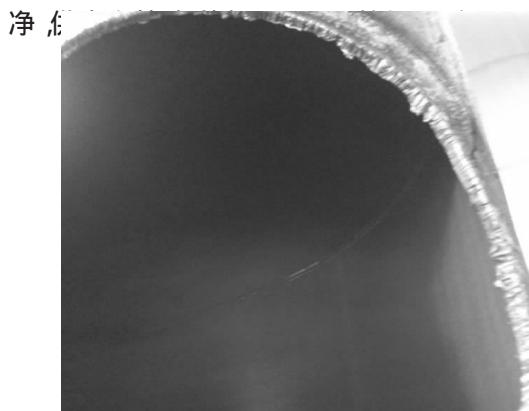


图 8 建立以海水淡化为依托的钢铁厂循环经济产业链

(下转第 36 页)



~5.

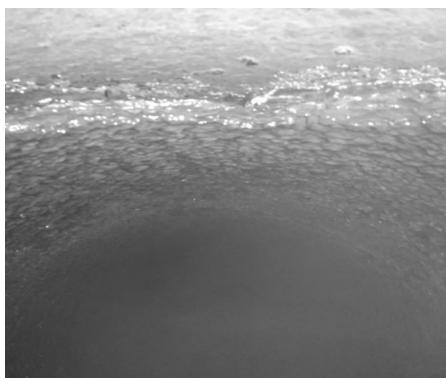


图5 供水主管路

(上接第32页) 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。

## 8 结语

总之,通过基于海水淡化的钢铁厂循环经济技术研发及应用,可以将钢铁、电力、化工等各个行业相结合,构建“纵向产业延伸、横向行业融合”的循环经济产业链,提高资源的利用效率,推动低碳经济的发展,具有较好的经济效益、环境效益、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。

### [参考文献]

- [1] 王辉, 李维新, 杨玉洁. 我国钢铁工业沿海布局趋势分析[J]. 海洋环

化学清洗后,煤气洗涤塔上支管50 mm的垢层完全清洗干净,管路内壁光滑,效果较好;供水主管路绝大部分垢层被清除,还剩余3~5 mm的薄垢。剩余垢层断面呈乳白色,质地极其致密坚硬。其原因为新1号高炉自投产以来,浊环历次清洗都没有将管路内的垢层完全清洗干净。随着生产的进行,管壁上积累的污垢钙含量越来越高,垢质也越来越坚硬。如果要将这种污垢完全洗掉,不仅需要更多的盐酸和更长的清洗时间,而且还会对其他部位造成过腐蚀,因此清洗已经达到了预期效果。

## 5 结语

综上所述,高炉煤气洗涤水存在回水悬浮物波动大,成垢离子含量高,电导率高等不利因素。通过分析高炉煤气洗涤水结垢成因,克服不利因素,对高炉煤气洗涤水系统日常控垢和定期除垢措施的实施,可以保证高炉煤气洗涤水系统安全稳定运行。

### [参考文献]

- [1] 周本省. 工业水处理技术(第二版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.  
[2] 肖作义. 高炉煤气洗涤水结垢、腐蚀原因及控制措施[J]. 内蒙古石油化工, 2011.

收修改稿日期 2016-11-17

作者简介 兰玲(1979-),女, 2003年毕业于辽宁工程技术大学, 给排水专业工程师, 现从事给排水技术管理工作。

境科学, 2014, 33(3): 477-481.

- [2] 王海壮, 李维新, 马新华. 我国钢铁工业沿海布局战略研究[J]. 世界地理研究, 2011, 20(2): 140-147.  
[3] 吴春华. 钢铁企业余热余能资源利用现状分析[J]. 冶金能源, 2014, 33(2): 54-57.  
[4] 王维兴. 钢铁工业能耗现状和节能潜力分析[J]. 中国钢铁业, 2011(4): 19-22.  
[5] 唐智新, 吴礼云, 梁红英. 低温多效蒸馏海水淡化蒸发器替代汽轮机凝汽器可行性及应用[J]. 水处理技术, 2015, 14(10): 113-115.  
[6] 刘宏强, 付建勋, 刘思雨等. 钢铁生产过程二氧化碳排放计算方法与实践[J]. 钢铁, 2016, 51(4): 74-82.  
[7] 吴俊, 李建设, 周剑, 刘春晓. 风力发电并网对电网的影响[J]. 南方电网技术, 2010, 4(5): 48-52.  
[8] 聂鑫, 刘克成, 龙潇. 海水淡化浓盐水回用于电解制氯系统的试验研究[J]. 电站辅机, 2012, 33(1): 10-13.

\*基金项目 国家科技支撑计划课题(2015BAB10B01)

收稿日期 2016-10-20

作者简介 唐智新(1979-),男, 硕士, 高级工程师, 主要从事水处理及海水淡化技术工作。