

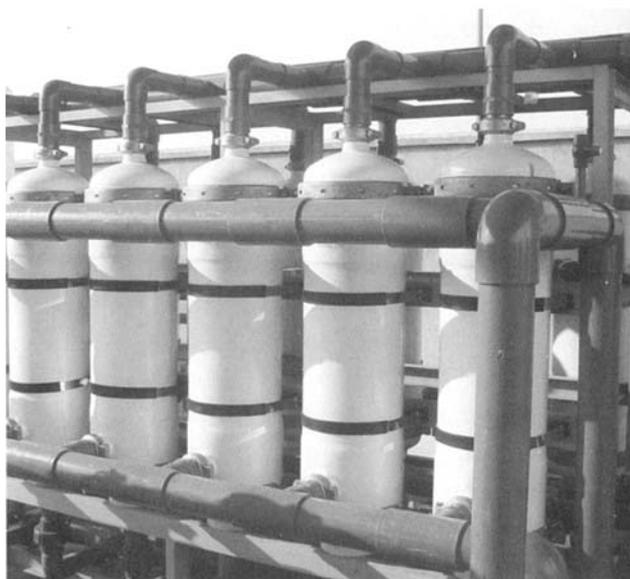
吴礼云<sup>1</sup>, 李 杨<sup>1</sup>, 寇彦德<sup>2</sup>, 张建红<sup>1</sup>

(1. 首钢京唐钢铁联合有限责任公司, 北京 100043;

(2. 首钢设计院, 北京 100043)

**摘要:** 根据首钢京唐钢铁公司的内外部条件, 并结合首钢实施生产废水零排放的运行经验, 提出耦合式盐平衡模式, 以海水淡化为基础, 以分质供水为手段, 从而实现工业用水零排放和循环经济, 并从理论上分析不同条件下耦合式系统的运行工况。

**关键词:** 工业用水; 耦合式模式; 海水淡化; 分质供水; 零排放; 循环经济



## 耦合式盐平衡模式

# 工业废水零排放的研究

2005年2月18日国家发展和改革委员会下发“关于首钢实施搬迁、结构调整和环境治理方案的批复”, 要求首钢按照循环经济理念, 结合唐山地区钢铁工业调整, 在唐山市南部渤海海湾的曹妃甸地区建设一个具有国际先进水平的钢铁联合企业。首钢京唐钢铁公司一期钢水产量995万t/a, 钢铁项目吨钢能耗0.669tce/t。

由于新建首钢京唐钢铁公司位于地下水和地表水均稀缺的华北地区, 唐山陡河水库的河水只能满足部分需要, 因此必须开源节流。一方面积极建设海水淡化工程, 根据除盐水需求, 海水淡化工程采用水电联产、热膜结合, 一期规划5万t/d。同时, 节水与废水回用结合, 生产废水采用清浊分流、一水多用、串级使用和循环利用相结合的设计原则, 尽可能减少新水用量; 水的重复利用率不低于97.5%, 无废水外排。

“零排放”的概念引进和实施, 使钢铁厂自身的发展和节水的要求得到了和谐统一, 符合滨海冶金、石化、电力等行业实施“零排放”和循环经济战略。本文特别提出在设计理念上, 首钢京唐钢铁公司利用临海的优势, 采用水电联产、热膜结合的海水淡化方式取得优质补给水, 选择合适的规模、合适的浓缩倍数, 采用耦合式盐平衡模式, 实现废水零排放。

### 1 传统意义上的钢铁生产废水零排放

由于水资源的日益紧缺, 钢铁公司相继投入污水处理厂; 由于浓缩、蒸发等因素, 没有深度脱盐处理的污水回用, 造成系统的含盐量升高。

由于水资源的日益紧缺, 为节约用水, 提高整个钢铁厂的水资源重复利用率, 作为用水大户的钢铁公司相继投入污水处理厂, 将经过污水处理厂处理后的水进行回用, 以节约水源水的补充量; 同时, 由于整个钢铁厂水系统浓缩、蒸发等因素, 进入污水处理厂的污水水质复杂, 含盐量较高, 没有深度脱盐处理的污水回用, 造成系统的含盐量升高、浓缩倍数提高困难以及加剧系统的腐蚀倾向等。

#### 1.1 后置式除盐系统

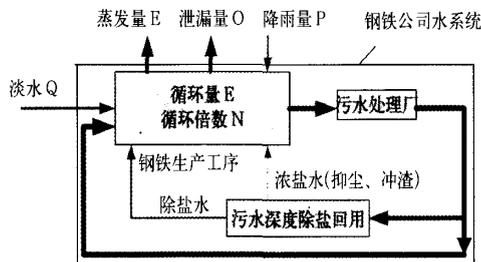


图1 后置式除盐系统

目前,国内钢铁公司(包括宝钢)基本上都是采用这种模式。

该模式的脱盐系统水源为污水处理厂的回用水,和水源相比较,含盐量较高,水质较复杂。故脱盐系统浓盐水的含盐量较高,浓盐水量较少,浓盐水容易消纳。由于污水处理厂回用水水质复杂,在技术层面,造成深度脱盐处理难度加大。首钢动力厂也有这方面案例。

## 1.2 前置式除盐系统

基于技术层面的因素,有些专家认为脱盐处理在水源处比较可靠。

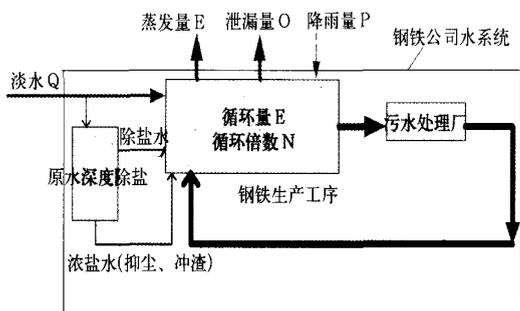


图2 前置式除盐系统

值得一提的是,以往的系统存在一系列的软化水站,实质上是向全厂水系统增加氯化钠,导致局部和整体的含盐升高。

一般而言,由于水源处没有经过浓缩,水质条件较好,在这种情况下,假定系统脱盐的总量、脱盐率不变,前置式除盐系统需要处理的水量以及外排的浓水量比后置式的除盐系统大。由于前置式除盐系统的浓盐水量太大,通过抑尘、冲渣和烟渣等途径只能消纳一部分,因此还有大量的浓盐水仍需外排才能降低这个系统的含盐量。

## 2 首钢京唐钢铁厂零排放的实践

首钢京唐钢铁公司和传统的钢铁厂水系统构成的不同之处:①没有软水系统:以往的系统在全厂水系统中增加氯化钠,导致局部和整体的含盐升高。②利用临海的优势,进行海水淡化,浓水进入社会盐场,符合循环经济的理念。③二路水源的概念:北方钢铁厂一般是水库水源和地下深井水源;京唐钢铁厂是海水淡化和陡河水库水水源,保障安全,而且综合的水质指

标很好。④体现从源头治理的精神;⑤含盐量的降低依靠海水淡化的优质产品水和地表源水兑水进行中和稀释,海水淡化的浓水进入社会盐场,充分体现循环经济的理念。从含盐量的理念上,没有蒸发后的固体废物排放;况且蒸发结晶的成本非常高,对于大流量的盐水,经济上不太可行。

### 2.1 首钢京唐公司淡水概况

首钢京唐钢铁公司的淡水来自陡河水库。为保证钢铁厂供水水质,提高循环水浓缩倍率,减少新水用量和外排水量,需降低原水中的暂时硬度,对原水进行混凝、沉淀、澄清、过滤处理,同时通过加石灰软化,处理后得到工业新水。

表1 首钢京唐钢铁公司淡水水质指标

项目	单位	水库水	工业新水
Cl	mg/L	33	33
全硬度	mmol [H <sup>+</sup> ] /L	4.65	2.45
碳酸盐硬度	mmol [H <sup>+</sup> ] /L	3.2	1.0
非碳酸盐硬度	mmol [H <sup>+</sup> ] /L	1.45	1.45
甲基橙碱度	mmol [H <sup>+</sup> ] /L	3.20	1.0
酚酞碱度	mmol [H <sup>+</sup> ] /L	0.20	0.20
pH值		8.37	8
COD <sub>Mn</sub>	mg/L	2.40	2.40
TDS	mg/L	316.60	235
SS	mg/L	≈ 10	≤ 5
电导率	μ S/cm	530	405

### 2.2 首钢京唐公司海水淡化概况

通过对海水进行混凝、沉淀、澄清等预处理后,海水进入热法MED-TVC装置及膜法SWRO组件淡化后产生淡水化,同时浓盐水送社会盐场晒盐。

表2 海水淡化出水水质指标

项目	电导率	TDS	Cl	HCO <sub>3</sub>	pH
单位	μ S/cm	mg/L	mg/L	mg/L	
指标	<10	≤ 5.00	<2.85	<0.01	7~8

### 2.3 首钢京唐公司污水处理及污水回用

由于实施了高炉干法除尘,不再产生高炉煤气洗涤水。但加入的炉料,如萤石等会给水带入F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>等,使TDS增加。

实施转炉干法除尘后,也没有OG废水了。但加入的炉料,如萤石等同样会给水带入F<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>,使TDS

增加。

干熄焦的实施,使焦化废水大量减少而且较之以往要容易处理些。在煤气净化流程中采用蒸氨工艺,降低了污水中氨的浓度;采用煤气横管初冷工艺,减少了排污水量。粗苯蒸馏各分离器及油槽产生的少量分离水及各作业区地下放空液、终冷洗苯作业区终冷塔排污水均集中送至机械化氨水分离槽,不外排。将蒸氨废水等酚氰污水送酚氰废水处理站处理,处理规模为300m<sup>3</sup>/h,采用A/O<sub>2</sub>生物脱氮处理及污水深度处理工艺流程,废水经除油、浮选、调节、缺氧、好氧以及沉淀、混凝沉淀等生物脱氮处理,再经石英砂、活性炭、超滤及反渗透等深度处理后,大大降低了废水中所含的挥发酚、氰化物、COD、石油类、氨氮、悬浮物等污染物的浓度。酚氰废水处理站处理前后水质情况见表3。

表3 酚氰废水处理前后的水质情况

名称	污染物浓度(mg/L)						
	COD <sub>Cr</sub>	NH <sub>3</sub> N	氰化物	挥发酚	石油类	SS	pH
进水	≤5000	<200	<20	<700	<50	<100	7~8
出水	≤100	≤15	<0.5	<0.5	<8	<70	7~8
GB13456-92 一级标准	100	15	0.5	0.5	8	70	6~9

经酚氰废水处理站处理后的出水约300m<sup>3</sup>/h,其中200m<sup>3</sup>/h作为循环水系统的补充水,100m<sup>3</sup>/h送烧结厂、原料场抑尘用。

冷轧废水分三类。含浓油及乳化液废水处理工艺:泵送纸带过滤机过滤-UF超滤系统油水分离-稀油废水处理系统生物接触氧化池;稀油废水处理工艺:混凝破乳-CAF涡凹气浮池-生物接触氧化池-与酸碱废水一并处理;酸碱废水处理工艺:两级中和-曝气氧化-高效反应澄清池-核桃壳过滤器-污水处理厂。

生活污水处理的主要工艺设施包括:格栅井-调节池(含水解酸化池)-初级接触氧化池-接触氧化池-高效沉淀池-污水处理厂。

污水处理厂采用物理-化学法对该类生产废水进行处理,以达到生产回用水的标准,其处理流程如下:进水-配水-格栅-提升-隔油-(投加石灰)混凝反应-沉淀-pH调节-过滤-消毒-回用。

### 2.4 首钢京唐公司盐平衡及循环经济

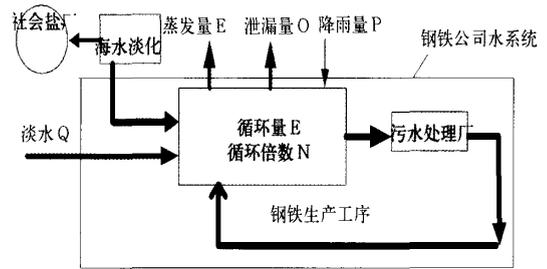


图3 耦合式盐平衡系统

对于一个钢铁厂,整体作为一个循环系统,要达到工业水零排放,需要在系统实现盐量和水量的平衡。

#### 2.4.1 水量平衡

根据首钢的运行经验,循环水量  $R \approx 233000\text{m}^3/\text{h}$ , 循环倍数为  $N$ 。

设原水量  $Q_{M1}$  (m<sup>3</sup>/h), 含盐量  $TDS_1 \leq 235\text{mg/L}$ ; 海水淡化水量  $Q_{M2}$  (m<sup>3</sup>/h), 含盐量  $TDS_2 \leq 5\text{mg/L}$ ; 则进入系统的工业水含盐量

$$TDS = \frac{Q_{M1} \times TDS_1 + Q_{M2} \times TDS_2}{Q_{M1} + Q_{M2}} (\text{mg/L});$$

蒸发量  $E$  (m<sup>3</sup>/h), 含盐量  $TDS_E \approx 0\text{mg/L}$ ;

风吹损失水量  $W \approx 0.05\%R = 116\text{m}^3/\text{h}$ , 含盐量  $TDS_W = N \cdot TDS$ ;

抑尘、焖渣、冲渣等消耗水量  $B \approx 304\text{m}^3/\text{h}$ 。

由水量平衡,  $Q_{M1} + Q_{M2} = E + W + B = E + 420$  (m<sup>3</sup>/h)

#### 2.4.2 盐量平衡

##### 2.4.2.1 进入系统的盐量

(1) 工业供水:  $Q_{M1} \times TDS_1 + Q_{M2} \times TDS_2 = 0.235Q_{M1} + 0.005Q_{M2}$  (kg/h)

(2) 炉料及混凝剂等带入量:  $18.5 + 48 = 66.5$  (kg/h)

进入系统总盐量  $m_\lambda = 0.235Q_{M1} + 0.005Q_{M2} + 66.5$  (kg/h)

##### 2.4.2.2 出系统的盐量

(1) 风吹:  $116N \cdot TDS = 0.116N \cdot TDS$  (kg/h)

(2) 污水厂降低量(污水厂设计处理规模为1905m<sup>3</sup>/h, 设除盐效果为  $\omega$  mg/L):  $1905 \omega$  (kg/h)

(3) 灰渣等带走盐分:  $22\text{t/h} \times (TDS \cdot N) = 0.022 N \cdot TDS$  (kg/h)

(4) 降雨稀释: 不计

(5) 泄漏带走: 暂不计

出系统总盐量  $m_{\text{出}} = 0.138N \cdot TDS + 1905 \omega$  (kg/h)

由盐量平衡,  $\Delta m = m_{\text{出}} - m_{\text{入}} = 0$  (kg/h)

满足零排放的充要条件:  $\Delta m \geq 0$  (kg/h)

### 3 耦合式盐平衡系统的运行

显然,  $\Delta m$  主要受  $E$ 、 $N$  和  $\omega$  等因素的影响。每个因素根据以往经验各取 3 个水平进行  $L_9(3^4)$  正交分析, 反求  $QM_1$  和  $QM_2$ :

$E$  水平:  $2330\text{m}^3/\text{h}$  (1% $R$ )、 $3495\text{m}^3/\text{h}$  (1.5% $R$ )、 $4660\text{m}^3/\text{h}$  (2% $R$ );

$N$  水平: 3、4、5;

$\omega$ :  $50\text{mg}/\text{L}$ 、 $125\text{mg}/\text{L}$ 、 $200\text{mg}/\text{L}$ 。

从表1分析可知: ①考虑到制水成本以及高浓缩倍数易引发结垢腐蚀, 第二种运行模式比较理想; ②对于本系统, 控制循环倍率  $N$  为 4 是比较合理的; ③应重视并强化污水厂的除盐功能。

### 4 结论

(1) 开式循环水系统在一定的浓缩倍数下运行, 需要强制排污来控制浓缩倍数。若将补充水经过预处理(除盐除碱除硬), 飞吹损失、泄漏水量等和补充水量达到一个动态平衡, 从而可使浓缩倍数稳定在一个数值, 而不进行人工强制性排污, 达到“零排污”。

(2) 当  $E = 2330\text{m}^3/\text{h}$  (1% $R$ )、 $N = 4$ 、 $\omega = 125\text{mg}/\text{L}$  时,  $Q_{M1} + Q_{M2} = E + W + B = E + 420$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), 是比较理想的运行模式。

(3) 污水处理厂的石灰投加及混凝工艺能除去一部分盐分。

(4) 控制循环倍率  $N$  在 4 左右是比较合理的。

(5) 把整个钢铁厂看作一个开式的循环冷却系统, 采用耦合式盐平衡模式, 并选择合适的浓缩倍数、海水淡化工艺和规模, 同时通过分质供水的手段合理销纳部分劣质水, 就能使整个循环冷却系统的盐量平衡达到一个合理的数值, 实现零排放和循环经济的目标。■

## 格兰仕空调 超低噪音

### ◆新型不等距大直径贯流风扇

着重每一个细节的雕塑, 新型不等距大直径贯流风扇的采用有效阻止气流共振。



### ◆运用三维系统设计, 优化风道系统

运用先进的人性化软件专业精确设计, 令风道系统结构更合理, 更实际, 从而从根本上优化机器风道系统。

## 广东格兰仕集团有限公司

地址: 广东省佛山市顺德容桂大道25号

邮编: 528305

总机: 0757-28886389

传真: 0757-23612907



### ◆光波空调, 高效杀菌, 真正健康

◆采用“茶之精”复合滤网、纳米级光触媒过滤网

◆光波杀菌, 平均杀菌率高达99.43%

◆格兰仕设计人性化、外观时尚

◆动感VFD 一目了然

◆采用知名品牌优质压缩机

◆采用X型翅片

◆新型内铜铜管

◆多折式蒸发器

◆新型不等距大直径贯流风扇

◆格兰仕光感静音 人文关怀

数据来源为有关检测报告