

# 烧碱行业



## 前 言

国家节能中心制定能效评价技术依据的主要目的是为全国节能中心系统有关工作提供依据，例如，固定资产投资项目节能评估和审查、“中国能效之星”评价、能源审计等。同时，随着能效评价技术依据的不断修订和完善，希望本技术依据能为相关行业、企业及机构统一规范的开展能效评价工作提供帮助，并为形成国家标准提供参考。

能效评价技术依据，其核心内容是能效评价指标体系的设置，包括能效评价指标和指标值两个部分。其中，指标的设置参考了国家能耗限额标准、地方能耗限额标准（限额文件）、行业能耗限额标准，以及相关行业和企业的统计指标；指标值的确定参考了国家能耗限额标准、行业能耗限额标准、地方能耗限额标准，以及国家节能中心和地方节能中心所掌握的能效数据、行业协会和相关科研机构的统计数据、典型企业的实际运行数据等。此外，能效评价技术依据还对指标体系的具体应用进行了解释。

烧碱行业能效评价技术依据由国家节能中心组织制定。在制定过程中得到了李永亮、周俊华、李素改、张鑫、孙伟善、张文雷、唐必勇、黄华军等专家，以及中国石油和化学工业联合会、中国氯碱工业协会、新疆节能监察总队、江苏省节能监察中心、重庆市能源利用监测中心、上海市节能监察中心、新疆天业（集团）公司、新疆中泰化学股份有限公司的大力支持和帮助，在此表示感谢。

## 1 适用范围

本技术依据适用于电解法（离子膜法、隔膜法）烧碱生产企业（装置）的能效评价，包括新建烧碱项目的节能评估和审查，以及既有烧碱生产企业（装置）的能效评价。采用氧阴极电解技术的烧碱企业（装置），可以参考此技术依据。

## 2 规范性引用文件

本技术依据引用了下列文件中的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本技术依据。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本技术依据。

GB 2125	烧碱单位产品能源消耗限额
GB 209—2006	工业用氢氧化钠
GB/T 2589	综合能耗计算通则
GB/T 2586	热量单位、符号与换算
GB/T 12497	三相异步电动机经济运行
GB/T 13466	交流电气传动风机（泵类、空气压缩机）系统经济运行通则
GB/T 13462	电力变压器经济运行
GB/T 14549	电能质量、公用电网谐波
GB 17167	用能单位能源计量器具配备和管理通则
GB 18613	中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级
GB 19762	清水离心泵能效限定值及节能评价值
GB 19153	容积式空气压缩机能效限定值及节能评价值
GB 19761	通风机能效限定值及节能评价值
GB 20052	三相配电变压器能效限定值及节能评价值

### 3 能效评价指标

#### 3.1 离子膜法烧碱装置能效评价指标

##### 3.1.1 核心指标

烧碱单位产品综合能耗，单位为千克标准煤/吨。

##### 3.1.2 参考指标

参考指标包括 5 项：电解单元单位产品综合能耗，单位为千克标准煤/吨；电解单元单位产品交流电耗，单位为千瓦时/吨；电解单元电流效率；45% 浓度烧碱单位产品蒸汽消耗，单位为千克蒸汽/吨，需注明蒸汽等级；变电整流效率。

#### 3.2 隔膜法烧碱装置能效评价指标

##### 3.2.1 核心指标

烧碱单位产品综合能耗，单位为千克标准煤/吨。

##### 3.2.2 参考指标

参考指标包括 5 项：电解单元单位产品综合能耗，单位为千克标准煤/吨；电解单元单位产品交流电耗，单位为千瓦时/吨；电解单元电流效率；30% 浓度烧碱单位产品蒸汽消耗，单位为千克蒸汽/吨，需注明蒸汽等级；变电整流效率。

### 4 评价指标的定义及计算方法

#### 4.1 核心指标

##### 4.1.1 烧碱单位产品综合能耗

定义：在统计期内，生产一吨 100% 烧碱产品的综合能源消耗量，包括从原盐、电力、蒸汽等原材料和能源经计量进入工序开始，到成品烧碱计量入库和伴生氯气、氢气经处理送出为止的整个电解法烧碱产品生产过程中的能

源消耗，不包括基建、技改等项目建设消耗的、生产界区内回收利用的和向外输出的能源量。

统计范围：综合能源消耗量由生产系统工艺装置、辅助生产系统和附属生产系统设施三部分能耗组成。

(1) 烧碱生产系统。从原盐或盐卤经计量并进入化盐桶前的一级输送设备、电解用交流电经计量进入整流变压器开始，到氯气、氢气经处理送出和成品烧碱包装入库为止的有关工序组成的完整工艺过程和设备。烧碱产品生产系统能源消耗量应包括烧碱生产界区内实际消耗的一次能源量和二次能源量。耗能工质（如水、氧气、氮气、压缩空气等），不论是外购的还是自产的，均应统计在能源消耗量中。

(2) 烧碱辅助生产系统。为生产系统工艺装置配置的工艺过程、设施和设备，包括动力、供电、机修、供水、供气、采暖、制冷、仪表和厂内原料场地以及安全、环保等装置。未包括在烧碱生产界区内的企业辅助生产系统、附属生产系统能源消耗量和损失量，应按消耗比例法分摊到烧碱生产系统内。

(3) 烧碱附属生产系统。为烧碱生产系统专门配置的生产指挥系统(厂部)和厂区内外生产服务的部门和单位，包括办公室、操作室、休息室、更衣室、澡堂、中控分析、成品检验、电解槽管理及修理、隔膜吸附、阳极涂钉和修复、阳极组装、石棉绒加工和回收、离子膜泄漏试验和修补等设施。

回收利用烧碱生产界区内产生的余能，不应计入能源消耗量中。供界区外装置回收利用的，应按其实际回收的能量从本界区能耗中扣除。

烧碱单位产品综合能耗按公式(1)计算：

$$E_{ZH} = E_{DJ} \times (1 + x) \times (1 + y) + E_{JC} \quad (1)$$

式中：

$E_{ZH}$ ——报告期内某种规格烧碱单位产品综合能耗，单位为千克标准煤/吨 (kgce/t)；

$E_{DJ}$ ——报告期内烧碱电解单元（包括氯、氢处理过程）单位产品综合能耗，单位为千克标准煤每吨 (kgce/t)；

$E_{JC}$ ——报告期内某种规格烧碱加工过程的单位产品综合能耗，单位为千克标准煤每吨 (kgce/t)；

$x$ ——实际发生的自用碱率；

$y$ ——实际发生的碱损失率。

各种能源的热值应折合为统一的计量单位千克标准煤 (kgce)。各种能源的热值以企业在报告期内实测的热值为准。没有实测条件的，采用附录中各种能源折标准煤参考系数。

#### 4.1.2 烧碱电解单元单位产品交流电耗

报告期内，用电解碱折 100% 烧碱单位产量表示的直接消耗的交流电量，即电解单元工艺电耗，不包括动力设备等的耗电量。

### 4.2 参考指标

#### 4.2.1 电解单元单位产品综合能耗

报告期内用电解碱折 100% 烧碱单位产量表示的电解工序能耗量，包括电解工艺的电耗和动力设备等的电耗。其按公式 (2) 计算：

$$E_{DJ} = \left[ \sum_{i=1}^n (e_{dsc} \times k_i) + \sum_{i=1}^n (e_{dfz} \times k_i) \right] / P_{DJ} \quad (2)$$

式中：

$e_{dsc}$ ——报告期内电解单元生产系统（包括氯、氢处理）投入的各种能耗实物量；

$e_{dfz}$ ——报告期内电解单元辅助生产系统、附属生产系统投入的各种能耗实物量；

$k$ ——某种能源折标准煤系数；

$n$ ——能源种类数；

$P_{DJ}$ ——报告期内电解单元电解碱折 100% 烧碱的产量，单位为吨（t）。

#### 4.2.2 电解单元单位产品交流电耗

报告期内用电解碱折 100% 烧碱单位产量表示的直接消耗的交流电量，即电解工艺电耗，不包括动力设备等的耗电量。其按公式（3）计算：

$$Q_{DH} = \frac{Q_{DL}}{P_{DJ}} \quad (3)$$

式中：

$Q_{DH}$ ——报告期内电解法烧碱电解单元单位产品交流电耗，单位为千瓦时/吨（kW · h/t）；

$Q_{DL}$ ——报告期内电解单元生产过程实际投入的交流电量，单位为千瓦时（kW · h）；

$P_{DJ}$ ——报告期内电解单元电解碱折 100% 烧碱产量，单位为吨（t）。

#### 4.2.3 电解单元电流效率

按照中国氯碱工业协会《氯碱技术经济核算规程》相关规定，电解单元电流效率按公式（4）计算：

$$\eta_{DL} = \frac{G_{\text{实际}}}{G_{\text{理论}}} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$\eta_{DL}$ ——电解单元电流效率；

$G_{\text{实际}}$ ——报告期内烧碱实际产量，单位为吨（t）；

$G_{\text{理论}}$ ——报告期内烧碱理论产量，单位为吨（t）。其可按公式（5）计算：

$$G_{\text{理论}} = 1.492 \times 10^{-6} \times I_{\text{平均}} \times N_{\text{电解槽数}} \times t \quad (5)$$

式中：

$I_{\text{平均}}$ ——报告期内平均电流强度，单位为安培（A）；

$N_{\text{电解槽数}}$ ——报告期内平均开动的电解槽数；

$t$ ——报告期内电解槽实际运行时间，单位为小时（h）。

#### 4.2.4 某一浓度烧碱单位产品蒸汽消耗

离子膜法烧碱浓度为 45%，隔膜法烧碱浓度为 30%，下同。按公式（6）

计算：

$$Q_{zq} = \frac{Q_{zqz}}{P_{zf}} \quad (6)$$

式中：

$Q_{zq}$ ——报告期内某一浓度烧碱单位产品蒸汽消耗，单位为吨/吨（t/t）；

$Q_{zqz}$ ——报告期内生产某一浓度烧碱蒸汽消耗量，单位为吨（t）；

$P_{zf}$ ——报告期内某一浓度烧碱折 100% 的产量，单位为吨（t）。

#### 4.2.5 变电整流效率

依照中国氯碱工业协会《氯碱技术经济核算规程》相关规定，变电整流效率按公式（7）计算：

$$\eta_{zl} = \frac{W_{zl}}{W_{jl}} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

$\eta_{zl}$ ——变电整流效率；

$W_{zl}$ ——报告期内直流输出功率，单位为千瓦（kW）；

$W_{jl}$ ——报告期内交流输出功率，单位为千瓦（kW）。

### 5 烧碱企业能效评价指标值

#### 5.1 烧碱单位产品综合能耗指标值

烧碱单位产品综合能耗指标值见表 1。

表 1

烧碱单位产品综合能耗指标值

单位: kgce/t

产品规格质量分数 (%)	数值类别			
	A	B	C	D
离子膜法液碱≥30. 0	292	298	315	339
离子膜法液碱≥45. 0	384	392	430	438
离子膜法固碱≥98. 0	594	606	630	650
隔膜法液碱≥30. 0	610	623	680	703
隔膜法液碱≥42. 0	776	792	800	850
隔膜法固碱≥95. 0	842	860	1000	1035

其中: A 值为全国同类烧碱装置能效领跑者目标值, B 值为全国同类烧碱装置能耗最好水平, C 值为全国同类烧碱装置能效前 5% 水平, D 值为全国同类烧碱装置平均水平。以下相同。

## 5.2 电解单元烧碱单位产品综合能耗指标值

电解单元烧碱单位产品综合能耗指标值见表 2。

表 2

电解单元烧碱单位产品综合能耗指标值

单位: kgce/t

工艺类型	数值类别			
	A	B	C	D
离子膜法烧碱	268	273	309	318
隔膜法烧碱	294	300	317	343

## 5.3 电解单元烧碱单位产品交流电耗指标值

电解单元烧碱单位产品交流电耗指标值见表 3。

表 3

电解单元烧碱单位产品交流电耗指标值

单位: kW·h/t

工艺类型	数值类别			
	A	B	C	D
离子膜法烧碱	2142	2186	2300	2350
隔膜法烧碱	2263	2300	2391	2450

注: 表中隔膜法烧碱电解单元交流电耗指标, 是指金属阳极隔膜电解槽电流密度在为  $1700\text{A}/\text{m}^2$  的执行标准, 电流密度每增减  $100\text{A}/\text{m}^2$ , 烧碱电解单元单位产品交流电耗数值增减  $44\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$ 。

### 5.4 电解单元电流效率指标值

电解单元电流效率指标值见表 4。

表 4

电解单元电流效率指标值

单位: %

指标名称	数值类别			
	A	B	C	D
电解单元电流效率	97.5	96.5	95.5	94.5

### 5.5 某一浓度烧碱单位产品蒸汽消耗指标值

某一浓度烧碱单位产品蒸汽消耗指标值见表 5。

表 5

某一浓度烧碱单位产品蒸汽消耗指标值

单位: 千克蒸汽/吨

指标名称	数值类别			
	A	B	C	D
45% 浓度离子膜法烧碱	500	510	580	900
30% 浓度隔膜法烧碱	1764	1800	2100	2600

### 5.6 变电整流效率指标值

变电整流效率指标值见表 6。

表 6

变电整流效率指标值

单位: %

指标名称	数值类别			
	A	B	C	D
变电整流效率	97.5	97	96	95

## 6 能效评价指标体系的应用

### 6.1 固定资产投资项目节能评估和审查

新建烧碱装置项目的固定资产节能评估报告文件中，应提供所有核心指标和参考指标的设计值及计算过程。

在固定资产投资项目节能评审中，对新建烧碱装置项目采用烧碱单位产品综合能耗作为判断项目总体能效水平的指标。具体判断方法如下：

烧碱单位产品能耗设计值≤B 值，国内领先水平；

B 值 < 烧碱单位产品能耗设计值≤C 值，国内先进水平；

C 值 < 烧碱单位产品能耗设计值≤D 值，国内一般水平；

烧碱单位产品能耗设计值>D 值，国内落后水平。

节能评估文件中，除烧碱单位产品综合能耗核心指标外，还应在项目能效水平评价部分分析其他参考指标，并进行对标分析。固定资产投资项目能效水平应至少达到 C 值以上，即达到国内先进水平，方可实施。处于国内落后水平的固定资产投资项目，不允许其开工建设或投入生产。

## 6.2 “中国能效之星” 评价

“中国能效之星” 评价指标体系（工业领域）中的“能效水平状况” 指标可采用本技术依据。烧碱装置分为两类，离子膜法烧碱装置总体能效评价指标采用 30% 离子膜法烧碱单位产品综合能耗、离子膜法电解单元烧碱单位产品交流电耗指标；隔膜法烧碱装置采用 30% 隔膜法烧碱单位产品综合能耗、隔膜法电解单元烧碱单位产品交流电耗指标。申报“中国能效之星”的烧碱装置，应在申报材料中明确列出相应指标，指标值应采用实际测试数据，数据测试和监测按照国家标准方法执行，并委托第三方检测机构进行检测与测算。

根据“中国能效之星” 评分规则，在行业平均水平（D 值）与最高水平（A 值）之间划分为 12 个区间，分别给予不同分值。具体评分时，对离子膜法烧碱生产装置和隔膜法烧碱生产装置分别进行评分，离子膜法烧碱生产装置 30% 离子膜法烧碱单位产品综合能耗指标权重为 60%，离子膜法电解单元烧碱单位产品交流电耗指标权重为 40%；隔膜法烧碱生产装置 30% 隔膜法烧碱单位产品综合能耗指标权重为 60%，隔膜法电解单元烧碱单位产品交流电耗指标权重为 40%。

离子膜法烧碱生产装置综合得分 = 30% 离子膜法烧碱单位产品综合能耗指标得分 × 60% + 离子膜法电解单元烧碱单位产品交流电耗指标得分 × 40%。

隔膜法烧碱生产装置综合得分 = 30% 隔膜法烧碱单位产品综合能耗指标得分 × 60% + 隔膜法电解单元烧碱单位产品交流电耗指标得分 × 40%。

具体评分标准如表 7 所示。

表 7 烧碱生产装置“中国能效之星”评分标准

离子膜法烧碱生产装置		隔膜法烧碱生产装置		得 分
30% 离子膜法烧碱 单位产品综合能耗 (千克标准煤/吨)	电解单元烧碱单位 产品交流电耗 (千瓦时/吨)	30% 隔膜法烧碱单位 产品综合能耗 (千克标准煤/吨)	电解单元烧碱单位 产品交流电耗 (千瓦时/吨)	
$V > 339$	$V > 2350$	$V > 703$	$V > 2450$	0
$333 < V \leq 339$	$2339 < V \leq 2350$	$691 < V \leq 703$	$2431 < V \leq 2450$	3
$325 < V \leq 333$	$2318 < V \leq 2339$	$679 < V \leq 691$	$2411 < V \leq 2431$	6
$315 < V \leq 325$	$2306 < V \leq 2318$	$680 < V \leq 679$	$2391 < V \leq 2411$	9
$310 < V \leq 315$	$2266 < V \leq 2306$	$656 < V \leq 680$	$2360 < V \leq 2391$	12
$305 < V \leq 310$	$2226 < V \leq 2266$	$645 < V \leq 656$	$230 < V \leq 2260$	15
$298 < V \leq 305$	$2186 < V \leq 2226$	$623 < V \leq 645$	$2300 < V \leq 2230$	18
$292 < V \leq 298$	$2142 < V \leq 2186$	$610 < V \leq 623$	$2218 < V \leq 2300$	21
$292 \geq V$	$2142 \geq V$	$610 \geq V$	$2263 \geq V$	25

## 6.3 能源审计

### 6.3.1 能效水平判断方法

能源审计报告中应当包含所有核心指标和参考指标，指标值应采用实际测试数据，离子膜烧碱装置以一个膜更换周期内平均单位产品能耗的运行值为特征指标。判断该项目的能效水平，具体判断依据如下：

烧碱单位产品能耗运行值  $\leq B$  值，国内领先水平；

$B$  值  $<$  烧碱单位产品能耗运行值  $\leq C$  值，国内先进水平；

$C$  值  $<$  烧碱单位产品能耗运行值  $\leq D$  值，国内一般水平；

烧碱单位产品能耗运行值  $> D$  值，国内落后水平。

能源审计机构应根据各指标所处区间，综合考虑烧碱装置的能效水平，按照工序排查分析能源利用中存在的问题，判断问题产生的原因，查找节能

潜力，提出改进措施和建议。

烧碱企业能源利用状况检查清单见表 8。

**表 8 烧碱企业能源利用状况检查清单**

工序	序号	岗位	主要检查内容
盐水工序	1	化盐	化盐水的来源、流量计安装及流量计量情况
	2	精制	盐水饱和度、杂质含量控制情况
	3	精制	加压泵运行情况及操作规范
	4	盐水	蒸汽用量计量，流量计的安装、运行情况
	5	盐水	压缩空气来源、用量核算，仪表空气、压缩空气压力控制是否在指标范围内
	6	盐水	动力电如何进行计量或核算，查现场电表安装、运行情况或核算准则的合理性及执行情况
离子膜电解工序	1	电解	电解直流电的计量，计量仪表的安置及运行情况
	2	电解	纯水的计量，流量计安装及运行情况
	3	电解	电槽电效指标控制及变化分析情况
	4	电解	单位产品交流电耗是否达到消耗限额及单位内控指标
	5	电解	蒸汽计量，流量计的安装、运行情况
	6	电解	30% 碱蒸汽单耗控制情况
	7	循环水	循环水泵运行参数控制情况及电机能效
	8	综合	压缩空气来源、用量核算，仪表空气、压缩空气压力控制是否在指标范围内
	9	综合	30% 液碱单位产品综合能耗核算情况，是否达到消耗限额及单位内控指标
氯氢工序	1	氯氢	氢气压缩机、氯气压缩机运行参数控制及运行情况
	2	天然气制氢	天然气来源，入户计量及流量计安装位置、运行情况，热值监测、结算
	3	天然气制氢	原料用、燃料用天然气分别计量，流量计安装位置及运行维护
	4	天然气制氢	氢气单位产品天然气消耗量核算
	5	天然气制氢	蒸汽用量计量及流量计安装、运行情况
	6	盐酸	热水循环泵运行参数控制及热水出口水温控制情况
	7	盐酸	氯化氢合成换热效率，合成炉出口温度控制情况

续表

工序	序号	岗位	主要检查内容
氯氢 工序	8	盐酸	蒸汽用量计量及流量计安装、运行情况
	9	冷冻	冷冻水压力、温度指标控制情况
	10	冷冻	溴化锂冷却机组进出口水温控制情况
	11	冷冻	设备、管线保冷情况，管道表面温度和环境温度的差值控制
	12	循环水	循环水温度、压力控制情况及循环水泵运行参数控制情况
	13	综合	工业水压力、仪表空气、压缩空气、氮气压力控制情况
蒸发 工序	1	蒸发	蒸汽来源，流量计的安装，流量、温度的计量，以及 50% 液碱单位产品蒸汽耗
	2	蒸发	I 效蒸发器真空度控制情况
	3	蒸发	设备设施保温情况，设备设施表面和环境温度的差值控制
	4	蒸发	压缩空气、氮气压力控制
	5	蒸发	50% 液碱单位产品电耗
	6	综合	50% 液碱单位产品综合能耗
固碱 工序	1	降膜蒸发	降膜固碱装置生产负荷控制情况
	2	降膜蒸发	天然气热值监测，使用量计量及计量表安装、运行情况及单位产品天然气耗控制
	3	降膜蒸发	预浓缩器真空度控制情况
	4	降膜蒸发	加热炉出口熔盐温度控制情况
	5	降膜蒸发	设备设施保温及外表温度和环境温度的差值控制
	6	循环水	循环水泵功率、温度、出水水温及能效控制
	7	综合	蒸汽、氮气、仪表空气压力控制情况
	8	综合	电消耗计量，电能表安装、运行情况及固碱单位产品电耗
	9	综合	蒸汽消耗计量，流量计安装、运行情况及固碱单位产品蒸汽耗
	10	综合	固碱单位产品综合能耗控制情况

### 6.3.2 影响因素及改进措施

烧碱产品的能耗与企业的生产工艺、装置、技术、管理等多种因素有关。综合能耗受各相关工序的能耗影响，各工序影响因素和改进措施分析如下。

### 6.3.2.1 整流工序

#### (1) 影响因素。

整流工序主要是将交流电通过变压、整流变为电解槽所用规格直流电的工序。在整流工序中，主要能耗是整流电损，它约占吨碱交流电耗的 4.6%。整流电损与整流效率相关，整流效率每提高 1%，每吨烧碱的整流电损可以降低 26.30 千瓦时。

#### (2) 改进措施。

①提高整流器整流相数的脉波数，抑制谐波，6（10）KV 供电母线的脉波数不应低于 12，35（66）kV 供电母线的脉波数不应低于 18，110kV 供电母线的脉波数不应低于 24，与电网连接点执行国家标准 GB/T 14549 电能质量、公用电网谐波有关规定。

②提高整流自然功率因数，减少高次谐波的危害。

③整流设备。整流效率取决于整流机组的选择，使用晶闸管整流装置的整流效率比二极管整流装置高。节能型大功率晶闸管（可控硅）整流器成为氯碱工业大型电解电源的首选。企业应优先选用直降式“二合一”大功率变电、整流装置，并根据情况选择同相逆并联方式或非同相逆并联方式。我国许多企业采用国产晶闸管整流装置，这种装置效率正常值比二极管整流装置高 2% ~ 3%。以离子膜烧碱电耗 2250 千瓦时/吨计算，整流效率每提高 2%，每吨烧碱可以节电 45 千瓦时。目前，较好的企业整流效率在 98% 以上，运行功率因数在 0.9 以上；一般的企业整流效率在 96% ~ 98%，运行功率因数在 0.9；较差的企业的整流效率在 96% 以下。

### 6.3.2.2 化盐、盐水精制工序

#### (1) 影响因素。

本工序是将商品原盐用水溶化，或将井区外来的卤水进行处理，即将粗盐水或卤水用物理和化学方法进行精制，达到隔膜电解或离子膜电解所要求

的入槽盐水质量标准。盐水精制不合格，杂质含量超标的盐水进入电解槽时，钙、镁等离子会在膜的碱性一侧与阴极产物氢氧化钠反应，生成氢氧化钙、氢氧化镁、氢氧化铁沉淀，降低膜的渗透率，减少阳极液的流量，降低电流效率，使电耗增加并缩短膜的使用寿命。

盐水工序主要消耗能源有化盐用水、调节化盐水温度的蒸汽用量、输送原盐和盐水的动力电等。

#### (2) 改进措施。

①调节化盐水温度的蒸汽用量，如采用回收冷凝水化盐或余热回收加热化盐水，均可以减少蒸汽的消耗。

②优化生产工艺，安装与输送原盐和盐水等动力设备相匹配的电机或加装变频器，避免出现“大马拉小车”的现象。

③采用先进的盐水精制技术及膜法去除硫酸根技术。目前，氯碱企业采用的一次盐水精制工艺已由传统的“道尔澄清桶+砂滤器”工艺转化成了薄膜液体过滤工艺（表面膜过滤技术）。膜法去除硫酸根技术使用的是纳滤膜，膜表面带有一定的电荷，对盐水的截留性能主要是由于离子与膜之间的静电作用。其原理是在高于溶液渗透压的压力下，对二价或高价离子具有很高的截留率，而对单价离子则具有较高的透过率。改变了传统的氯化钡法除硫酸根方法，不仅节能减排、降低成本，而且解决了安全环保问题，彻底杜绝了传统氯化钡法毒性大、储运不方便的安全风险。同时，该工艺还能对盐泥中硫酸根等物质进行回收，并制得硫酸盐，减少污染物的排放种类和数量，带来附加经济效益。

#### 6.3.2.3 电解工序

##### (1) 影响因素。

本工序主要消耗的是直流电。影响直流电消耗的主要因素是烧碱生产的主要设备电解槽的技术水平。

## (2) 改进措施。

①采用先进的离子膜法烧碱生产工艺。离子膜法烧碱生产工艺逐步替代隔膜法生产工艺，尤其是自 2008 年以来膜极距电解槽及其相关改造技术的不断应用，使得烧碱行业整体综合能耗水平呈现逐年下降的趋势。以 30% 的烧碱为例，2007 年，全行业烧碱（30% 烧碱）综合能耗平均水平为 559 千克标准煤/吨，2012 年下降到了的 379 千克标准煤/吨的平均水平，5 年时间下降了 32.2%。

②离子膜电解采用自然循环、复极式。高电流密度的电解槽，比普通自然循环复极槽的电耗低；采用扩张金属阳极、改性隔膜和活性阴极，要比普通金属阳极隔膜电耗低；提高电流效率，降低电耗。

③膜极距复极式离子膜电解槽是通过降低电解槽阴极侧溶液的电压降，从而达到节电的效果。有极距电解槽阴阳极之间的极间距为 1.8 ~ 2.2mm，溶液电压降为 200mV 左右。膜极距电解槽的主要原理是采用弹性阴极导电结构和柔性微网阴极，使阴极紧贴膜表面，阴极与阳极之间没有可压缩间隙，只有膜的厚度距离，最大限度地降低溶液电压降。另外，阴极间距离比有极距电解槽均匀，使得电流密度分布更均匀，槽电压也相应降低，膜极距电解槽同时必须采用低氢过电位阴极涂层，与传统的电解槽比较，在电解槽的结构、电极的材质、涂层的活性、电解性能等方面都有很大提高。当前行业最广泛使用的高电流密度电解槽中，膜极距电解槽节能优势更加明显。电解槽改造后，单元槽槽电压平均比改造前降低 0.15V，吨碱可节电约 105 千瓦时。不仅新建项目可以采用膜极距技术，而且还可以利用原有的有极距电解槽改造成膜极距电解槽。

### 6.3.2.4 液碱蒸发工序

#### (1) 影响因素。

液碱蒸发工序是以蒸汽为热源，将电解产生的氢氧化钠溶液进行蒸发浓

缩提纯，使之符合商品液碱产品规格的过程。影响蒸发工序的主要因素为蒸汽压力，较高压力的生蒸汽可使一效蒸发器以至整个蒸发系统获得较大的加热温差，但是，蒸发器有一个传热温差临界值，对不同的蒸发流程要选择相适应的生蒸汽压力范围。

#### (2) 改进措施。

①优化生蒸汽压力。严格控制蒸汽压力，不同蒸发流程要选择相适应的生蒸汽压力范围，从而降低蒸汽消耗。如采用三效顺流自然循环工艺的生蒸汽压力，可选择  $0.58\text{ MPa} \sim 0.74\text{ MPa}$ 。

②提高真空度。真空度是关系到汽耗和装置生产能力的主要因素，提高真空度可增加末效及整个蒸发系统的温差而使汽耗降低，同时也提高蒸发系统的生产能力。

③提高电解液入蒸发器时的温度。电解液入蒸发器的温度达到（或接近）进料效体料液的沸点，不但可降低汽耗，也使装置运行稳定。

④减少散热损失。通常在较好的保温条件下，烧碱生产界区内热量损失占总供热量的  $2\% \sim 5\%$ ，但保温不好时会高达  $10\% \sim 15\%$ 。减少散热损失的措施包括对裸露的法兰、阀门、人孔等实施保温，避免冷凝水排放时夹带蒸汽。

⑤采用先进的蒸发节能技术。近年来，新建的烧碱装置以离子膜法工艺为主，离子膜烧碱的蒸发一般都是从  $30\% \sim 32\%$  浓缩到  $48\% \sim 50\%$ 。液碱蒸发新技术和新型设备的发展趋势是双效发展为多效、顺流发展为逆流、自然循环发展为强制循环。以生产  $50\%$  离子膜烧碱为例，三效逆流降膜碱蒸发技术同现有双效碱蒸发技术相比，吨碱汽耗平均由  $0.72$  吨降至约  $0.52$  吨，生产一吨  $50\%$  的烧碱溶液节约  $0.2$  吨蒸汽，比单效碱蒸发技术节约  $0.55 \sim 0.6$  吨蒸汽。目前，烧碱行业新上烧碱项目及现有离子烧碱蒸发系统改造项目，已

已经开始广泛应用三效逆流降膜蒸发工艺。

#### 6.3.2.5 固体烧碱工序

##### (1) 影响因素。

液碱通过加热蒸浓生产 95% 和 98% 固碱，能耗主要与液碱生产工艺生产的液碱浓度有关。

##### (2) 改进措施。

采用连续升降膜法蒸发比锅法熬制的能耗要低。采用降膜蒸发器和最终浓缩器，传热效率高，热损失小。采用二段蒸发，两段浓缩，可大大降低能耗和操作费用。

#### 6.3.2.6 氯气、氯气处理工序

##### (1) 影响因素

氯气处理工序在整个氯碱生产中起到承上启下的作用。对电解送来的氯气、氢气进行冷却、干燥、加压并送往各用户，氯气和氢气的压力的调节对保证系统的安全稳定运行以及离子膜的使用寿命起着至关重要的作用；对于送往各用户的氯气、氢气，要保证含水量的合格、压力的平稳。本工序消耗的能源主要是动力电及水，电力功率较大。

##### (2) 改进措施

①输送设备。用节能型氢气压缩机替代一般水环泵输送氢气，用节能型氯气透平压缩机取代传统纳氏泵。

②生产余热回收利用。电解槽操作温度为 85℃ ~ 90℃，生产烧碱的同时也产生含有大量饱和水蒸汽的氯气和氢气，两者所带出的热量在 2GJ 以上（以生产一吨 100% 烧碱计）。利用此热量预热入槽精盐水，既节约蒸汽，又节约冷却水。回收利用氯化氢、盐酸合成炉余热。在合成氯化氢、盐酸的生产过程中，生产一吨氯化氢可产生 2522MJ 的反应热。一吨氯化氢气体回收的热

量可副产 0.5MPa 蒸汽 750 千克。

③氯气处理及液化技术。氯气液化技术近年来从低压液化向中压液化、高压液化转变较多，特别是大型透平机和螺杆制冷机组、溴化锂冷水机组的应用，使氯气液化技术进一步提升。传统纳氏泵或小透平机，氯气输出压力在 0.15MPa (G) 左右，主要用低压法液化，液化温度要达到 -30℃。10 万吨/年以上单套烧碱装置一般采用透平机设备，氯气输出压力可控制在 0.3MPa ~ 0.5MPa (G)，液化温度约在 0℃ ~ 10℃。相对于低压液化而言，中压液化可采用氟利昂螺杆制冷机组或溴化锂制冷机，比低压法节能约 30%，采用中压法液化电耗一般在 40 千瓦时/吨以内。高压法液化近年来应用开始增多，采用多级透平机可以使氯气输出压力达到 1.0MPa ~ 1.6MPa (G)，液化温度达到常温 30℃ ~ 50℃，用循环水或溴化锂制冷水即可液化。这样，比中压法又节能约 20%，但需解决液化器腐蚀及泄漏问题。随着氯碱规模大型化，离心式氯气透平机由于节能、自动化程度高且具有输送能力大、震动小、调节范围大、运行稳定等优点，已成为各氯碱厂家的首选。透平压缩机比传统纳氏泵每年可节电 30% ~ 50% 以上，以其节能环保优势将取代纳氏泵，这已成为行业发展趋势。

#### 6.3.2.7 其他因素

##### (1) 经济运行。

企业应使生产通用设备达到经济运行的状态，对各种管网，应加强维护管理，防止跑、冒、滴、漏的现象发生。

##### (2) 耗能设备。

①企业应提高电机系统通用设备的能效，用高效节能设备更新淘汰高耗能设备。年运行时间大于 3000 小时的设备，电动机的能效应达到 GB 18613 节能评价值的水平，清水离心泵的能效应达到 GB 19762 节能评价值的水平，通风机的

能效应达到 GB 19761 节能评价值的水平，容积式空气压缩机的能效应达到 GB 19153 节能评价值的水平。应使电动机运行在额定负载的 75% ~ 80%。

②企业应提高变电和配电设备的能效，配电变压器的能效应达到 GB 20052 节能评价值的水平。变电和配电应采用低压集中补偿的方法，采用补偿电容，提高功率因数。



## 附录 1

### 各种能源折标准煤参考系数

能源名称	平均低位发热量	折标准煤系数
原煤	20908kJ/kg (5000kcal)	0. 7143kgce/kg
洗精煤	26344kJ/kg (6300kcal)	0. 9000kgce/kg
其他 洗煤	a. 洗中煤 8363kJ/kg (2000kcal)	0. 2857kgce/kg
	b. 煤泥 8363kJ/kg ~ 12545kJ/kg (2000 ~ 3000kcal)	0. 2857kgce/kg ~ 0. 4286kgce/kg
焦炭	28435kJ/kg (6800kcal)	0. 9714kgce/kg
渣油	41816kJ/kg (10000kcal)	1. 4286kgce/kg
纯水	28. 43MJ/t (6800kcal)	0. 9714kgce/t
蒸汽 (低压)	3763. 44MJ/t ( $9 \times 10^5$ kcal)	0. 1286kgce/kg
油田天然气	38931kJ/m <sup>3</sup> (9310kcal)	1. 3300kgce/m <sup>3</sup>
气田天然气	35544kJ/m <sup>3</sup> (8500kcal)	1. 2143kgce/m <sup>3</sup>
煤矿瓦斯气	14636kJ/m <sup>3</sup> ~ 16726kJ/m <sup>3</sup> (3500 ~ 4000kcal)	0. 5000kgce/m <sup>3</sup> ~ 0. 5714kgce/m <sup>3</sup>
焦炉煤气	16726kJ/m <sup>3</sup> ~ 17081kJ/m <sup>3</sup> (4000 ~ 4300kcal)	0. 5714kgce/m <sup>3</sup> ~ 0. 6143kgce/m <sup>3</sup>
其他 煤气	a. 发生炉煤气 5227kJ/m <sup>3</sup> (1250kcal)	0. 1786kgce/m <sup>3</sup>
	b. 焦炭制气 16308kJ/m <sup>3</sup> (3900kcal)	0. 5571kgce/m <sup>3</sup>
	c. 压力气化煤气 15054kJ/m <sup>3</sup> (3600kcal)	0. 5143kgce/m <sup>3</sup>
	d. 水煤气 10454kJ/m <sup>3</sup> (2500kcal)	0. 3571kgce/m <sup>3</sup>
氢气	10802kJ/Nm <sup>3</sup> (2580kcal)	0. 3686kgce/m <sup>3</sup>
热力 (当量)	—	0. 03412kgce/MJ (0. 14286kgce/ $10^3$ kcal)
电力 (当量)	3601kJ/kW · h (860kcal)	0. 1229kgce/kW · h

