

中华人民共和国环境保护行业标准

HJ/T xx-2002

---

清洁生产技术要求 铝电解业  
(征求意见稿)

Technical requirement for cleaner production  
- Aluminum Electrolytic industry

2002-xx-xx 发布

2002-xx-xx 实施

---

国家环境保护总局 发布

目 次

前言

- 1 主题内容与适用范围
- 2 引用标准
- 3 定义
- 4 技术要求内容
- 5 数据采集和计算方法
- 6 技术要求的实施

## 前言

为了进一步推动中国的清洁生产，防止生态破坏，保护人们健康，促进经济发展，并为铝电解业开展清洁生产提供技术支持和导向，制定本铝电解行业清洁生产技术要求（以下简称“本技术要求”）。

本技术要求为推荐性标准，可用于企业的清洁生产审核和清洁生产潜力与机会的判断，以及企业清洁生产绩效评定和企业清洁生产绩效公告制度。

本技术要求根据当前的行业技术和装备水平而制定，共分为三级，一级代表国际清洁生产先进水平，二级代表国内清洁生产先进水平，三级代表国内清洁生产基本水平。由于技术在不断进步和发展，本技术要求也将不断修订，一般五年修订一次。

根据清洁生产的一般要求，清洁生产指标原则上分为生产工艺与装备要求、资源能源利用指标、产品指标、污染物产生指标（末端处理前）、废物回收利用指标和环境管理要求等六类。考虑到铝电解业的特点，本技术要求将清洁生产指标分为五类，即生产工艺与装备要求、资源能源利用指标、污染物产生指标（末端处理前）、废物回收利用指标和环境管理要求。

本技术要求由国家环境保护总局科技标准司提出。

本技术要求由抚顺市环境保护研究所、抚顺市清洁生产中心所负责起草。

本技术要求主要起草人：叶永恒、尹洁、王宏伟、迟乃刚、张宝生、叶青、王桂芳、卢广平、王军、韩泽治。

本技术由国家环境保护总局负责解释。

本技术要求为首次发布，自 2002 年 xx 月 xx 日起实施。

## 1 主题内容与适用范围

## 1.1 主题内容

本技术要求按照清洁生产的原理，从提高资源利用率和减少环境污染出发，针对铝电解生产过程的资源能源利用、污染物产生、产品的生产过程、废物回收利用和环境管理提出技术要求。

## 1.2 适用范围

本技术要求适用于预焙槽铝电解生产企业（电流强度 135KA 以上，不包括生活消耗）的清洁生产审核、清洁生产绩效评定和清洁生产绩效公告制度。

## 2 引用标准

暂无引用标准。

## 3 定义

### 3.1 清洁生产

清洁生产是指不断采取改进设计、使用清洁的能源和原料、采用先进的工艺技术与设备、改善管理、综合利用等从源头消减的措施，提高资源利用效率，减少或者避免生产、服务和产品使用过程中污染物的产生和排放，以减轻或者消除对人类健康和环境的危害。

## 4 技术要求内容

### 4.1 指标分级

本技术要求共给出了铝电解业生产过程清洁生产水平的三级技术指标：

一级：国际清洁生产先进水平；

二级：国内清洁生产先进水平；

三级：国内清洁生产平均水平；

4.2 各级指标的具体数值分别见表 1 所示。

表 1 铝电解行业清洁生产技术要求

HJ/T xx-2002

项目	一级	二级	三级
<b>一、生产工艺与装备要求</b>			
1. 生产工艺与装备要求	生产工艺采用计算机控制；物料输送采用浓相/超浓相输送系统	生产工艺采用计算机控制；物料输送采用浓相/超浓相输送系统	生产工艺采用计算机控制；物料输送采用浓相/超浓相输送系统
<b>二、资源能源利用指标</b>			
1. 原辅材料的消耗	铝电解生产的主要原料为氧化铝，辅助原料氟化铝、冰晶石、炭块。使用其他代用品或添加剂时，在生产过程中应减轻对人体健康的损害和生态环境的负面影响	铝电解生产的主要原料为氧化铝，辅助原料氟化铝、冰晶石、炭块。使用其他代用品或添加剂时，在生产过程中应减轻对人体健康的损害和生态环境的负面影响	铝电解生产的主要原料为氧化铝，辅助原料氟化铝、冰晶石、炭块。使用其他代用品或添加剂时，在生产过程中应减轻对人体健康的损害和生态环境的负面影响
2. 原辅材料入厂合格率	100%	100%	100%
3. 电流效率 (%)	95	93	90
4. 原铝直流电耗 (kwh/t·Al)	13100	13500	14000
5. 氧化铝单耗 (kg/ t·Al)	1920	1930	1950
6. 氟化铝单耗 (kg/ t·Al)	27	27	27
7. 冰晶石单耗 (kg/ t·Al)	5	5	5
8. 阳极单耗 (净耗) (kg/ t·Al)	410	450	520
<b>三、污染物产生指标</b>			
1. 全氟产生量 (kg/ t·Al)	16	18	20
2. 粉尘产生量 (kg/ t·Al)	12	40	50

续表 (一)

## HJ/T xx-2002

四、废物回收利用指标			
1. 集气效率 (%)	98.5	98	90
2. 槽渣	100%回收并处理或利用；槽大修废渣全部无害化处置	100%回收并处理或利用；槽大修废渣全部无害化处置	100%回收并处理或利用；槽大修废渣全部无害化处置
3. 废氧化铝	100%回收并加工利用	100%回收并加工利用	100%回收并加工利用
4. 废冰晶石	100%回收并加工利用	100%回收并加工利用	100%回收并加工利用
5. 废阳极	100%回收并加工利用	100%回收并加工利用	100%回收并加工利用
6. 冷却水	100%循环利用	100%循环利用	100%循环利用
五、环境管理要求			
1. 生产过程环境管理	建立完善的工艺执行监督考核、设备维修维护、原材料检验和贮存、产品质量检查制度		
2. 清洁生产审核	按照国家环保总局编制的铝电解业的企业清洁生产审核指南的要求进行审核		
3. 环境管理制度	按照 ISO14001 建立并运行环境管理体系，环境管理手册、程序文件及作业文件齐备	环境管理制度健全，原始记录及统计数据基本齐全有效	环境管理制度、原始记录及统计数据基本齐全

### 5 数据采集和计算方法

本技术要求所设计的各项指标均采用铝电解业和环境保护部门最常用的指标，易于了解和执行。

5.1 本技术要求的各项指标的采样和监测按照国家标准监测方法执行。

5.2 每个采样点应至少选取三组以上样品进行数据分析。

5.3 污染物产生指标系指末端处理之前的指标，应分别在监测各个车间或装置后进行累计。

#### 5.4 有关参数的计算方法

##### 5.4.1 电流效率

电流效率大小是用实际铝产量和理论铝产量之比来表示，即：

$$= (P_{\text{实}}/P_{\text{理}}) \times 100\%$$

式中  $P_{\text{理}} = CI \times 10^{-3} \text{ (kg)}$

C --- 铝的电化当量， $C = 0.3356\text{g} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

I --- 电解槽系列平均电流，A

--- 电解时间 (h)

##### 5.4.2 直流电耗

电耗是电解生产中一项综合技术指标，用下面公式表示：

$$W_{\text{电耗}} = \frac{V_{\text{槽平均电压}}}{\text{电流效率} \cdot C_{\text{铝电化当量}}}$$

式中：  $V_{\text{槽平均电压}} = V_{\text{工作电压}} + V_{\text{线路分摊电压}} + V_{\text{效应电压}}$

#### 5.4.3 氧化铝单耗

$$\text{氧化铝单耗} = \frac{\text{氧化铝消耗量}}{\text{铝产量}} \quad (\text{t/t} \cdot \text{Al})$$

#### 5.4.4 氟化盐单耗

$$\text{氟化盐单耗} = \frac{\text{氟化盐消耗量}}{\text{铝产量}} \quad (\text{t/t} \cdot \text{Al})$$

#### 5.4.5 炭块单耗（净耗）

$$\text{炭块单耗} = \frac{\text{炭块消耗量}}{\text{铝产量}} \quad (\text{t/t} \cdot \text{Al})$$

#### 5.4.6 污染物氟的计算

铝电解产生的污染物包括电解质的蒸发物和一次生产的氟化氢。后者是由阳极中氢和进入电解槽中的水分产生的。氟化物的损失量与电解温度有关。

$$W = \frac{279}{(\text{CR})^2} + 0.047t - 61$$

式中：  $W$  ——生产每吨铝损失氟量  $\text{kg/t} \cdot \text{Al}$

$\text{CR}$  —— $\text{NaF}/\text{AlF}_3$  的分子比

$t$  ——电解温度

#### 5.4.7 电解槽集气效率的测定计算

电解铝生产过程集气效率计算模式中各参数值是对某电解槽实际取样而获得的，该集气效率计算模式已广泛在铝工业上应用，其各参数值应视为可信。

若干台电解槽（即一个净化系统承担的槽数为  $N$ ），废气带走氟量及集气效率为 100% 时的废气含氟浓度。废气带走氟量计算公式：

$$F_d = N \cdot A_d \cdot F_y \quad (\text{kg/d})$$

$A_d$  - 槽日产铝量

$F_y$  - 吨铝产氟量

在集气效率为 100% 时，进入净化系统的废气含氟浓度计算式为：

$$C_F = \frac{N \cdot A_d \cdot F_y \cdot 10^6}{N \cdot Q_1 \cdot 24} \quad (\text{mg/Nm}^3)$$

式中： $N$  - 为电解槽数（净化系统承担电解槽数），台；

$Q_1$  - 实际单槽排烟量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

24 - 全天小时数。

铝电解槽的实际集气效率有两种测定计算方法：

其一假设单槽排烟设计值与实际值完全一致时，计算方法如下：

$$\text{集} = \frac{C'_F}{C_F} \times 100\%$$

式中： $C'_F$  - 实测烟气（未净化前）含氟浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$C_F$  - 集气效率为 100% 时，烟气含氟浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

其二，当实际单槽排烟量或净化系统处理烟气体量与设计烟气体量不同（增加或减少）时，应按照下式计算集气效率。

$$\text{集} = \frac{C'_F \cdot N \cdot Q_1 \cdot 24}{N \cdot A_d \cdot F_y \cdot 10^6} \times 100\%$$

## 6 技术要求的实施

本技术要求由各级人民政府环境保护行政主管部门负责监督实施。

《清洁生产技术要求 铝电解业》编制课题组  
二零零二年七月

目录

- 1 概况
- 2 适用范围
- 3 指导原则
- 4 制定技术要求的依据和主要参考资料
- 5 编制技术要求的基本方法
- 6 技术要求实施的可行性和可操作性分析

## 1 概况

铝电解业属于重污染行业，氟化物、沥青烟是铝电解生产特征污染物。电解生产过程中，氟化铝、冰晶石、氟化盐等，在高温条件下，熔融为电解质，氧化铝溶于电解质，在直流电作用下，发生电化学反应，在阴极析出金属铝，电解质中的氟化物与原料和空气中的水分反应生成 HF，与碳、硅元素反应生成  $CF_4$ 、 $SiF_4$  等氟化物，从电解槽散发出来。同时由于电解槽加工操作，造成氟化物粉尘扬散。这些气态和固态氟化物最终随电解烟气排放到电解槽外，造成环境污染。铝电解企业一般以数十台至百余台电解槽为一个系列，电解厂房长度一般在几百米至上千米，对厂区周围影响范围较大，特别在不利气象条件下，可能发生污染事故。

铝电解生产过程中，受原辅材料和生产工艺控制水平等方面因素的影响，所产生的环境问题比较突出。主要体现以下几个方面，粉尘排放量大。粉尘排放量大的原因是在氧化铝装卸料，输送过程中产生的粉尘扩散。造成环境空气污染和车间内职工身体健康的损害。铝电解过程中，会产生氟化物和沥青烟，主要原因是电解过程由氟化盐水解产生，特别是自焙槽用的阳极糊因含水分和炭氢化物，故烟气中氟的含量比预焙槽高，氟化氢占氟化物总量的比例中，自焙槽约占 2/3，预焙槽只有 1/2。铝电解工艺不同，污染物控制水平相差很大。特别是处理效果不理想时，所排放的污染物给空气环境造成污染。

清洁生产是工业可持续发展的一项重要战略，也是实现污染控制重点由末端控制向生产全过程转变的重大措施。近年来，国内开展清洁生产审核的企业数呈逐年上升趋势。清洁生产（污染预防）已被工业企业所接受并将向纵深全面开展。本技术要求的制订将进一步推动铝电解业的清洁生产顺利进行，使铝电解业生产过程更清洁、标准和规范化，有着非常重要意义。

1954 年国内第一家电解铝厂抚顺铝厂建成投产，当时设计能力为 1.5 万 t/a，槽型为 45kA 侧插自焙槽。1966 年国内第一家由自焙槽改造成预焙槽在原郑州铝厂改造成功。1979 年，抚顺铝厂建成 135kA 大型预焙槽，贵州铝厂也引进日本 160kA 中间下料大型预焙槽。经过 40 多年的发展。截止到 2001 年底，全国已建成大小铝电解企业 120 家，生产能力 400 万 t/a。目前，预焙槽产铝量占全国总产量的 70%，自焙槽产量所占份额较低。

### 1.1 铝电解业生产的主要问题

国内铝电解业起步较晚，但发展很快，尤其是改革开放以来，在“优先发展

铝工业”的方针指导下，铝工业有了突飞猛进的发展。但是从总体上看，与发达国家相比，差距还很大，主要表现为：技术装备落后、生产水平低，尤其地方铝电解厂规模小、效益低、污染重、成本高，急需改造与提高。

(1) 铝电解企业多。目前，已建成投产的铝电解企业有 120 家，数量居世界各国之冠，总数量接近了世界其它各国铝企业的总和（约 130 家），而产铝大国美国、俄罗斯、加拿大分别为 23、11、11 家。

(2) 生产规模小。目前，铝电解企业年平均生产规模为 2.4 万 t，而美国、俄罗斯、加拿大年平均生产规模分别为，18.2 万 t、27 万 t、20.7 万 t，世界平均产能为 17.2 万 t。可见国内铝电解企业的年平均生产规模落后于世界产铝大国水平。现在国内规模最大的铝电解企业年产能仅为 20 万 t，超过 10 万 t 的企业也仅仅有 5 家，而俄罗斯一家大型铝电解年产能就高达 75 万 t。

(3) 布局不合理。现建成的铝电解企业遍及全国 26 个省、市、自治区，且地区间发展不平衡，结构调整问题突出。

## 1.2 铝电解业生产工艺水平

近年来随着科技进步，铝电解技术及装备水平不断提高，但与世界先进水平相比仍有较大差距。(1)国内早期建设的铝电解企业大都采用自焙阳极电解槽。经过多年的改进和发展，机械化水平和技术经济指标有了一定程度地提高，较好企业的直流电耗为  $14500 \text{ kw} \cdot \text{h}/\text{t} \cdot \text{Al} \sim 14800 \text{ kw} \cdot \text{h}/\text{t} \cdot \text{Al}$ ，电流效率  $88\% \sim 90\%$ 。但与国外同类型槽相比，自动化水平低，环境污染重，劳动强度大。目前，自焙槽生产工艺已被国家产业政策限制、淘汰。(2)国内的预焙阳极电解槽有 75kA、135 kA、160kA、180kA 和 320 kA 等不同形式，已经成为主导槽型。近年来，借鉴世界最先进的大型预焙阳极电解槽的经验，开发出来一些新型的 160kA ~ 200 kA 电解槽，该技术在母线配置、热平衡设计、自动化控制和氧化铝输送等方面均进行了改进，使电流效率达到了  $93\% \sim 94\%$ ，原铝直流电耗  $13400 \text{ kw} \cdot \text{h}/\text{t} \cdot \text{Al}$ 。与国际水平相比，国内的预焙阳极电解槽的寿命短，仅有 1500 天，而国外最长的槽寿命已达 2800 天。(3)铝电解企业总体装备机械化水平低。主要表现在电解生产工艺过程中使用的多功能机组、炭素焙烧用多功能机组、阳极组装设备和阳极焙烧炉等方面。引进设备翻版开发的电解多功能机组，虽可基本满足生产要求，但比较复杂，不易维修，某些配套元器件使用寿命短。

“九五”期间，国内铝电解企业各项技术经济指标有较大幅度改善，见表 1。

表 1 铝电解企业的技术经济指标

## HJ/T xx-2002

序 号	指标名称	单 位	国内	国外
			预焙槽	
1	电流强度	KA	135 ~ 320	
			140 ~ 320	
2	电流效率	%	91 ~ 93	93 ~ 96
3	氧化铝单耗	kg/t - Al	1930	1920
4	冰晶石单耗	kg/t - Al	5	5
5	氟化铝单耗	kg/t - Al	27	25
6	阳极炭块单耗	kg/t - Al	580/450	550/390
7	原铝直流单耗	kwh/t - Al	13400-13800	13460 ~ 13040

从上表可以看出，国内预焙槽的技术经济指标近年来有了明显地改善，进一步缩小了同国际先进水平差距，但与国际先进水平相比仍差距较大，若考虑净化系统运行的能耗，差距则更大。

解决好铝电解业环境与经济可持续发展问题，最佳的途经是从生产过程进行控制，全面实施清洁生产。从清洁生产和环境保护角度对不同工艺铝电解企业提出原材料、资源消耗指标。这些指标主要包括：原铝直流电耗、电流效率、氧化铝单耗、氟化物单耗，阳极单耗。废物回收利用指标着重提出了电解槽集气效率、槽渣、废氧化铝、废冰晶石、废阳极、冷却水。污染物产生指标着重提出了特异污染物氟化物、粉尘产生量。目前，铝电解业污染物排放即没有行业标准也没有国家标准，仅仅遵循国家炉窑污染物和大气污染物综合排放标准。

铝电解业近二十年发展较快，由于工艺路线统一，生产设备相近，特别是在资源、能源消耗方面积累了大量的基础资料，为制订技术要求提供了科学、可靠的依据，故本技术要求所提出的指标具有可比性、可借鉴性，符合实际。

### 1.3 技术要求基本原则

随着国内清洁生产工作的不断深入开展，企业参加清洁生产审核的企业数量不断增加，呈现不断上升的趋势。在清洁生产审核的活动中，如何判断企业或项目是否达到清洁生产要求一直很困难，由于缺乏统一的技术要求使得清洁生产推行工作存在很大障碍，根据国家环境保护总局环发[2002]2号文件要求，在国家科技部重点攻关项目（编号 2001DG000042）《重工业城市清洁生产实施研究》课题的支持下，确定由抚顺市环境保护研究所负责起草《铝电解业清洁生产审核指

南》、《铝电解业清洁生产技术要求》。

课题小组认真研究了关于制订“技术要求”和“指南”所要求的研究内容、研究方法以及标准框架设计和原则，确定了以下工作准则：

(1) 制订铝电解清洁生产技术要求是非常必要的，这对企业清洁生产审核、清洁生产绩效评定和清洁生产绩效公告均有重要意义。

(2) 在现阶段，由于条件所限，要直接制订的清洁生产标准难度较大，“技术要求”不包括氟化盐、炭素生产等工序。

(3) 技术要求针对的大型预焙电解槽（135KA 以上）工艺来设定清洁生产的指标和基准数据值，具体的基准数据按企业的实际情况考虑分级。

(4) 技术要求充分考虑铝电解生产工艺特点，与国内现行环境管理制度（环境影响评价、限期治理、排污许可证）相结合，以环境保护为重点，作为污染预防战略的技术支持。

技术要求主要反映铝电解生产的典型预焙工艺。根据清洁生产的要求，清洁生产应体现预防思想，以预防为主，不考虑末端治理。以清洁生产目标为基础，提出五类指标，即生产工艺与装备要求、资源能源利用指标、污染物产生指标（末端处理前）、废物回收利用指标和环境管理要求。从现行铝电解企业预防污染技术角度出发，决定将企业清洁生产分为三级，主要考虑现行技术的水平，不考虑企业规模，从而促进铝电解企业实现清洁生产。

## 2. 适用范围

本技术要求适用于铝电解生产的企业，可适用于清洁生产审核、清洁生产绩效评定和企业清洁生产绩效公告制度。

本技术要求从实施之日起，划分现有企业和新、扩、改建的企业。新、扩、改建企业必须满足三级或三级以上本技术要求，现有企业应限期达到本技术要求，具体限期由各级人民政府环境保护行政主管部门确定。

(1) 本技术要求适用于大型预焙槽铝电解生产企业。

(2) 上插自焙阳极电解槽和侧插自焙阳极槽已属淘汰的设备，此类企业不予考虑。

## 3 指导原则

### 3.1 指导原则

制订清洁生产技术要求的基本原则是：

依据清洁生产理论，主要围绕铝电解生产全过程而展开。主要从生产工艺与装备要求、资源能源利用指标、污染物产生指标（末端处理前）、废物回收利用指标和环境管理要求五个方面来考虑。

具体原则如下：

（1）符合清洁生产的思路，体现预防为主的原则，本技术要求完全不考虑末端治理，因此，污染物产生指标是指污染物离开生产线时的数量，不是经过处理之后的数量和浓度。

（2）符合产业政策和铝电解业发展趋势的要求，根据生产特点，特别是电解槽型不同，技术经济指标不同，各个企业的指标均相差较大。因此，考虑到大多数铝电解企业的积极性，以及今后进行清洁生产企业的绩效评定和企业清洁生产绩效公告制度的需要，将技术要求划分为三级。

一级要求：企业的生产行为，符合可持续发展的原则，各项指标要求均达到国际同行业清洁生产先进水平。

二级要求：企业的生产行为，较好符合可持续发展的要求，各项指标要求均达到国内同行业清洁生产先进水平。

三级要求：企业的生产行为，基本符合可持续发展的要求，各项指标要求均达到国内同行业清洁生产平均水平。

同时，所有企业的污染物末端排放必须达标排放。

（3）本技术要求定量化，但对于一些难于量化的指标，均给出详尽的文字说明。

（4）本技术要求力求实用和具有可操作性，技术要求指标均选取铝电解企业和环境保护部门最常用的指标，企业和审核人员容易理解和掌握。

## 4 制定技术要求的依据和主要参考资料

### 4.1 技术要求的依据

（1）国家环境保护总局环发[2002]2号“关于公布清洁生产审核试点单位并开展试点工作的通知”。

（2）国家科技部《重点工业城市清洁生产》（项目编号2001DG000042）。

（3）国家清洁生产中心清办函。[2002]004号“关于清洁生产审核机构试点工作有关事项的通知”。

## 4.2 主要参考资料

- (1)《全国各铝厂产量和主要技术经济指标排序》全国有色金属冶炼学会. 1999-2001
- (2)《啤酒行业清洁生产审核指南》国家环境保护局. 1996
- (3)《重工业城市清洁生产审核指南》抚顺市环境保护研究所. 2002
- (4)《清洁生产知识 150 问》抚顺市环境保护研究所. 2002
- (5)《重点金属冶炼》杨重愚. 轻金属冶金学. 北京. 冶金工业出版社 2002/5/9
- (6)《轻金属》沈阳铝镁设计院
- (7)《抚顺铝厂环保综合治理改造工程环境影响报告书》沈阳铝镁设计研究院. 1999/09

## 5 编制技术要求的基本方法

### 5.1 方法概述

清洁生产技术要求的制订在国内乃至国际尚属首次,因此没有现成的标准或要求可借鉴。此次技术要求的制订严格按照清洁生产的定义,立足企业生产实际,以铝电解为主线向两边延伸,以清洁生产理论为基础,以系统综合、效益论证等方法,最终确定从五个方面提出本技术要求的指标,即生产工艺与装备要求、资源能源利用指标、污染物产生指标(末端处理前)、废物回收利用指标和环境管理要求。它将企业生产实践和环保要求有机结合起来,由此而达到对企业生产环节提出要求,实现环境与经济可持续发展的目的。

### 5.2 原辅材料指标的确定

原辅材料指标主要考虑用于铝电解生产的原辅材料在生产过程中是否对生态环境产生不利的影 响,以及原料在企业生产过程中是否得到充分利用,因此选择了企业常用指标氧化铝、氟化铝、冰晶石、炭块单耗。上述指标考核常规化,每一家企业都容易接受并可以自行测定。

### 5.3 能源消耗指标的确定

能源消耗指标选择了最常用的经济技术指标电流效率和原铝直流电耗。(1)电流效率;(2)耗电量。能源消耗指标的具体数值参照 1999 - 2001 年全国有色冶炼电解铝企业调查统计数据(个别稍作调整)。

### 5.4 污染物产生指标的确定

污染物产生指标是本技术要求中最重要的要求,它直接与环境有关,铝电解

生产过程产生的污染物主要来自电解工艺废气,结合企业的实际情况提出了污染物产生指标,即氟化物、粉尘。产生量按照各企业实际分析测定浓度推算得出。

### 5.5 废物回收利用指标的确定

与固体废物有关的指标为槽渣、废氧化铝、废冰晶石、废阳极;与废气有关的指标为粉尘、氟化物,铝电解生产过程中所产生这六项废物基本具有可回收利用的特点和价值,只有回收和利用才可以减少对环境的影响。槽大修渣要求全部无害化处置。

### 5.6 环境管理要求的确定

环境管理要求是一类定性指标,主要从企业是否进行了生产管理、清洁生产审核和环境管理制度是否健全三方面考虑。

### 5.7 有关数据和计算方法的说明

本技术要求所制订的指标是依据 2001 年全国有色轻金属冶统计信息学会统计资料、沈阳铝镁设计研究院相关研究报告和国家有色金属工业局出版的《轻金属》所提供的数据。相关指标的计算方法是行业内公认通用的。

#### 5.7.1 电流效率

电流效率是铝电解生产过程中的一项非常重要的技术经济指标。它在一定程度上反映了电解生产的技术和管理水平。在电解生产过程中一方面金属铝在阴极析出,另一方面又以各种原因损失掉,目前,国际最先进电流效率指标已达 95.8%,国内普遍采用的 160KA 预焙槽电流效率在 88.27~91.0%,而 200KA 预焙槽电流效率提高到 92.5%,已在国内处于领先水平,个别达到 93%~95%。结合国内铝电解企业生产实际情况,制订本项指标。

#### 5.7.2 原铝直流电耗

原铝直流电耗是电解生产中一项综合技术指标,电解槽的效应越多,槽平均电压就越高,电耗就必然高。在发生阳极效应时,不产出铝,而增加了电的消耗。国内铝电解企业直流电耗处于 13450 kWh/t·Al~14300 kWh/t·Al,国际先进水平可达到 13100 kWh/t·Al。考虑大型预焙槽铝电解企业的生产管理水平和技术装备能力,制订本项指标。

#### 5.7.3 氧化铝单耗

随着科学技术进步和生产管理的提高,氧化铝单耗不断降低,国内铝电解企业氧化铝单耗处于 1930 kg/t·Al~1950 kg/t·Al,最好企业已经达到 1920 kg/t·Al,多余的消耗主要是运输损耗、加料过程中的飞扬以及其它机械损失造

成的，随着机械化、自动化技术的发展，槽体密闭程度的提高，氧化铝的损失量是可以降低的。考虑大型预焙槽铝电解企业的生产管理水平和技术装备能力，制订本项指标。

#### 5.7.4 氟化铝和冰晶石单耗

氟化铝、冰晶石理论上它们都是不消耗的，然而在电解高温下氟化物（主要是氟化铝）的挥发与碱及碱土金属的相互作用和水解造成它们的损失。损失大部分被烟气带走。随着烟气净化系统的建立和完善，这部分损失基本可以避免，减少其挥发量的主要途径是降低电解温度。国内铝电解企业氟化铝单耗处于  $27 \text{ kg/t} \cdot \text{Al} \sim 30 \text{ kg/t} \cdot \text{Al}$ ，冰晶石单耗处于  $5 \text{ kg/t} \cdot \text{Al} \sim 7 \text{ kg/t} \cdot \text{Al}$ ，最好企业氟化铝单耗  $23 \text{ kg/t} \cdot \text{Al}$ ，冰晶石单耗  $5 \text{ kg/t} \cdot \text{Al}$ ，已经处于国际领先水平，本项指标的制订是切合实际的。

#### 5.7.5 炭块单耗（净耗）

阳极炭块理论上消耗量为  $393 \text{ kg/t} \cdot \text{Al}$ ，国内铝电解企业炭块单耗处于  $480 \text{ kg/t} \cdot \text{Al} \sim 540 \text{ kg/t} \cdot \text{Al}$ ，最好企业达到  $450 \text{ kg/t} \cdot \text{Al}$ ，平均利用率在 70% 左右，主要原因是纯度不高，质量不好，操作（电解）管理不善造成阳极氧化及漏糊、槽子早期破损等，国外炭块阳极净耗在  $410 \sim 425 \text{ kg/t} \cdot \text{Al}$  之间，随着科学技术进步和生产管理的提高，阳极炭块单耗不断降低，考虑大型预焙槽铝电解企业的生产管理水平和技术装备能力，制订本项指标。

#### 5.7.6 电解槽集气效率的测定计算

电解铝生产过程集气效率计算模式中各参数值是对某电解槽实际取样而获得的，该集气效率计算模式已广泛在铝工业上应用，其各参数值应视为可信。

若干台电解槽（即一个净化系统承担的槽数为  $N$ ），废气带走氟量及集气效率为 100% 时的废气含氟浓度。以某电解厂为例，该厂新建 10 台电解槽及全密闭集气，机械排烟、干法净化系统，已知其槽日产铝量（ $A_d$ ）为  $540 \text{ kg/d}$ ，10 台电解槽日产铝（ $10A_d$ ）为  $5.4 \text{ t/d}$ ，其吨铝废气带走氟量（ $F_y$ ）为  $13.7 \text{ kg/t} \cdot \text{Al}$ ；该类槽设计单槽排烟量（ $Q_1$ ）为  $4500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ，10 台槽每天排烟总量为  $108 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{d}$ 。

废气带走氟量计算公式：

$$F_d = N \cdot A_d \cdot F_y \text{ (kg/d)}$$

在集气效率为 100% 时，进入净化系统的废气含氟浓度计算式为：

$$C_f = \frac{N \cdot A_d \cdot F_y \cdot 10^6}{N \cdot Q_1 \cdot 24} \text{ (mg/Nm}^3\text{)}$$

将参数带入以上两式中， $F_d = 73.98 \text{ kg/d}$ ， $C_f = 68.5 \text{ mg/Nm}^3$

铝电解槽的实际集气效率有两种测定计算方法：

其一假设单槽排烟设计值与实际值完全一致时，计算方法如下：

$$\text{集} = \frac{C'_F}{C_F} \times 100\%$$

式中： $C'_F$  - 实测烟气（未净化前）含氟浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$C_F$  - 集气效率为 100% 时，烟气含氟浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

其二，当实际单槽排烟量或净化系统处理烟气体量与设计烟气体量不同（增加或减少）时，应按照下式计算集气效率。

$$\text{集} = \frac{C'_F \cdot N \cdot Q_1 \cdot 24}{N \cdot A_d \cdot F_y \cdot 10^6} \times 100\%$$

式中： $N$  - 为电解槽数（净化系统承担电解槽数），台；

$Q_1$  - 实际单槽排烟量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

24 - 全天小时数。

### 5.7.7 冷却水

铝电解生产消耗冷却水包括三部分：铸造冷却水、净化系统冷却水、空压机冷却水。水质较好，要求 100% 回收利用。

## 6 技术要求实施的技术可行性和可操作性分析

### 6.1 技术要求实施的技术可行性

本技术要求的提出从环境保护的角度出发，立足企业，以铝电解生产为主线，各项指标数值的确定参考了全国铝电解企业的技术经济指标，实现这些指标并不是高不可攀的，技术上难度不大，只要企业经营和管理达到全国平均水平，均可达到三级要求，技术和工艺成熟可靠，并有成功实例。本技术要求的实施在技术上是可行的。

### 6.2 技术要求的可操作性

为使本技术要求实施具有较强的操作性，以企业经过努力可以实现为目标，选择了国内万吨以上产量的 25 家大型预焙槽生产企业的经济技术指标数据进行达标测定，其结果见表 2。

表 2 预焙槽生产企业技术要求指标达标测定

## HJ/T xx-2002

级别	电流效率		原铝直流电耗		氧化铝单耗		氟化盐单耗		阳极单耗	
	%		kwh/t · Al		kg/t · Al		kg/t · Al		kg/t · Al	
	企业数	%	企业数	%	企业数	%	企业数	%	企业数	%
一级	2	8	1	4	1	4	11	44	0	0
二级	9	36	11	44	6	24			3	12
三级	4	16	4	16	8	32			13	52
大于三 级	10	40	9	36	10	40	14	56	9	36

注：氟化盐单耗 = 氟化铝单耗 + 冰晶石单耗

本技术要求所选定的技术指标是可以达到的，并不是高不可攀的，说明该技术要求具有可操作性。