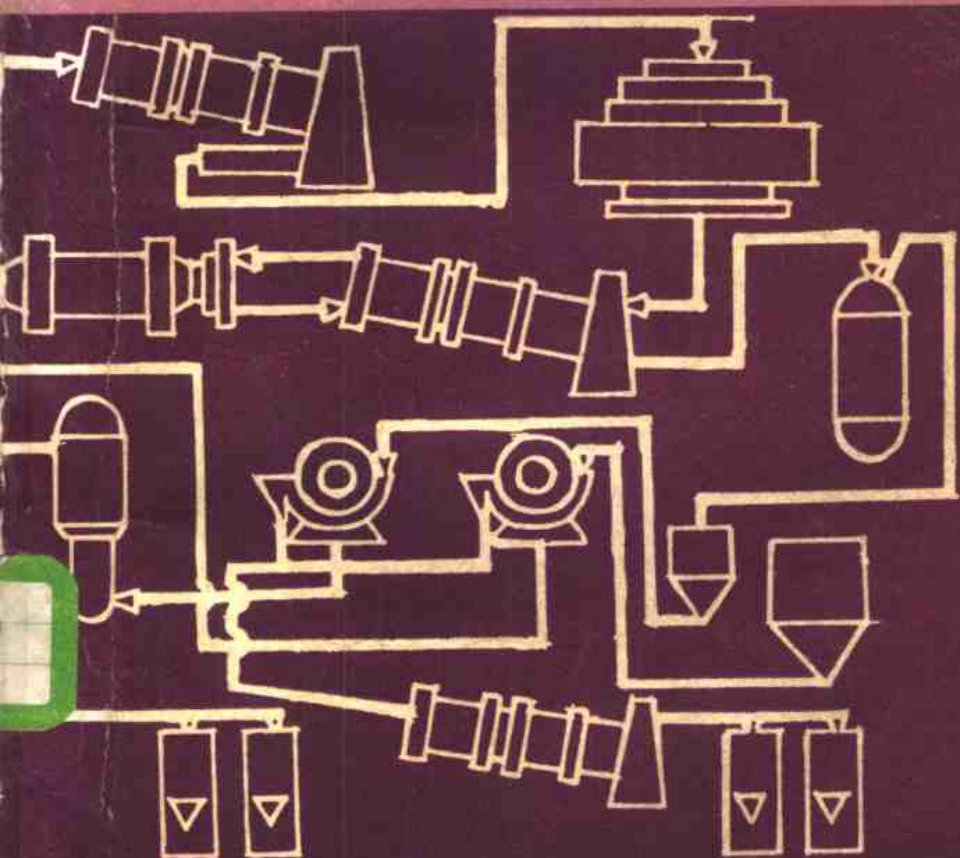


氧化铝 生产工艺计算



内 容 简 介

本书编译自苏联莫斯科冶金工业出版社1981年出版的《Технологические расчеты в производстве глинозема》一书，全书共280页。

本书叙述了氧化铝生产主要工序的物料平衡计算，其中包括联合法铝土矿氧化铝的生产物料平衡计算和霞石氧化铝生产的物料平衡计算。此外，还叙述了氧化铝生产主要工序之主要设备计算及其热平衡。

本书可供中等冶金专业学校的学生使用，也可供工厂和有色冶金设计部门的工程技术人员参考。

氧化铝生产工艺计算

(苏) Л.Б.Самарина, А.И.Лайнер

刘玉彩 李元杰 张梅枝 高守正 译

张梅枝 高守正 校

李元杰 审校

责任编辑 祁春韶

中国有色金属工业总公司

《轻金属》编辑部 出版

(沈阳市和平大街三教五十号)

本刊代号：8—86辽宁省期刊登记证第027号

787×1092 1/32 印张11.1/4 字数270千字

印数00,001~1200册

1985年9月印刷

前 言

目前，铝工业在我国工业中占据主导地位之一。本五年计划期间和以后的年度内均确定大力发展氧化铝生产和铝生产，因此，将有一批新的氧化铝厂和铝厂投产。

生产工艺的不断改进，最新科技成果和更为现代化的高效设备在生产中的应用，以及生产过程的机械化和自动化，均在改变着现代化企业的整个面貌。在世界上，我国首先在工业生产中利用低品位的含氧化铝原料：霞石、明矾石、高硅铝土矿。

铝工业的技术进步要求培养出极熟练的，能独立解决复杂工艺课题、领导生产、计算物料平衡和设备的技术干部、工程师和研究人员。

可惜，我们的高等院校和中等专业学校迄今尚无有助于学生完成课程设计和毕业设计的参考书。本书提供了氧化铝生产工艺过程的物料平衡以及主要工艺设备的计算，以帮助高等冶金院校及中等专业学校的学生完成课程设计和毕业设计。

目 录

前 言

一、物料流量的计算

1. 铝土矿拜耳法氧化铝生产的物料平衡…………… (1)
2. 铝土矿、碳酸钠和石灰石烧结法氧化铝生产的物料平衡…………… (28)
3. 铝土矿拜耳-烧结联合法氧化铝生产的物料平衡…………… (54)
4. 霞石生产氧化铝的物料平衡…………… (112)

二、氧化铝生产主要设备的计算

1. 铝土矿溶出用压煮器组…………… (145)
2. 赤泥分离沉降槽和洗涤沉降槽…………… (185)
3. 种子搅拌分解工序的主要设备…………… (204)
4. 四效蒸发器组…………… (215)
5. 焙烧回转窑…………… (231)
6. 沸腾焙烧炉…………… (267)
7. 铝土矿炉料烧结回转窑…………… (306)

一、物料流量的计算

物料流量的计算也就是物料平衡的编制，常以制得1吨氧化铝为基础来进行。拜耳法生产氧化铝的流程图见图1。

1. 铝土矿拜耳法氧化铝生产的物料平衡

原始数据:

1) 铝土矿的化学组成^{*1}, %:

Al_2O_3 54.0; Fe_2O_3 23.6; SiO_2 4.0; TiO_2 2.2;
 CaO 2.0; CO_2 1.6; 灼减11.0; 其它1.6 (合计100%);
水分 (H_2O) 7.0;

石灰的化学组成, %:

$\text{CaO}_{\text{实}}$ 86.4; $\text{CaO}_{\text{杂质}}$ 2.6; SiO_2 3.6; CO_2 2.0;
其它5.4 (合计100%); 水分 (H_2O) 5.0;

2) 苛性碱液组成, 克/升:

Na_2O 438.8; Na_2O_V 7.2; CO_2 5.1; 比重 1440 公斤/米³;

3) Al_2O_3 的商品产出率89.0%;

4) 石灰耗用量为干铝土矿量的 3.0%;

5) 循环溶液的组成, 克/升:

Na_2O 300.0; Al_2O_3 129.87; Na_2O_V 26.10; CO_2 18.52; H_2O 945.50; 比重1420公斤/米³; $\alpha_s=3.8$;

^{*1} 所采用的铝土矿的矿物组成为一水硬铝石——水软铝石型。

6) 铝酸钠溶液的组成:

Al_2O_3 145.15克/升; 比重1240公斤/米³; $\alpha_s=1.7$;

7) Na_2O 损失为62.9公斤;

8) 沉降槽底流液固比为 3.0; 末次洗涤槽底流液固比为2.5;

9) 弃赤泥中液相的 Na_2O 含量为2.145克/升;

10) 溶出和自蒸发后溶出浆液的稀释率为 1.5%;

11) 当种子比为2.0时, 种子氢氧化铝含水率为 20%;
沉降后氢氧化铝的液固比=1.0;

12) 氢氧化铝洗涤水耗量为 1 吨, 过滤后氢氧化铝含水率为10.0%;

13) 由一水碳酸钠带走的循环溶液量占其湿沉淀重量的 25%;

14) 苛化用的石灰量为化学计算量的125%; 苛化率为 90%;

15) 石灰浆液中的 Na_2O_{6m} 含量为 10.0%, 排出的石灰渣含水率为25.8%。

损失计算:

当商品 Al_2O_3 的产出率为 89.0%, 并制得 1 吨氧化铝中含有990.0公斤 Al_2O_3 时, 则干铝土矿的需要量为:

$$990 + (0.54 \times 0.89) = 2059.92 \text{ 公斤,}$$

其中含有 $2059.92 \times 0.54 = 1112.36$ 公斤 Al_2O_3 。

故 Al_2O_3 的总损失为 $1112.36 - 990 = 122.36$ 公斤。这些 Al_2O_3 损失中, 破碎损失为 0.2% Al_2O_3 , 或 $0.2 \times 122.36 + 11.0 = 3.22$ 公斤, 它相当于损失 $3.22 \div 0.54 = 5.98$ 公斤干铝土矿。

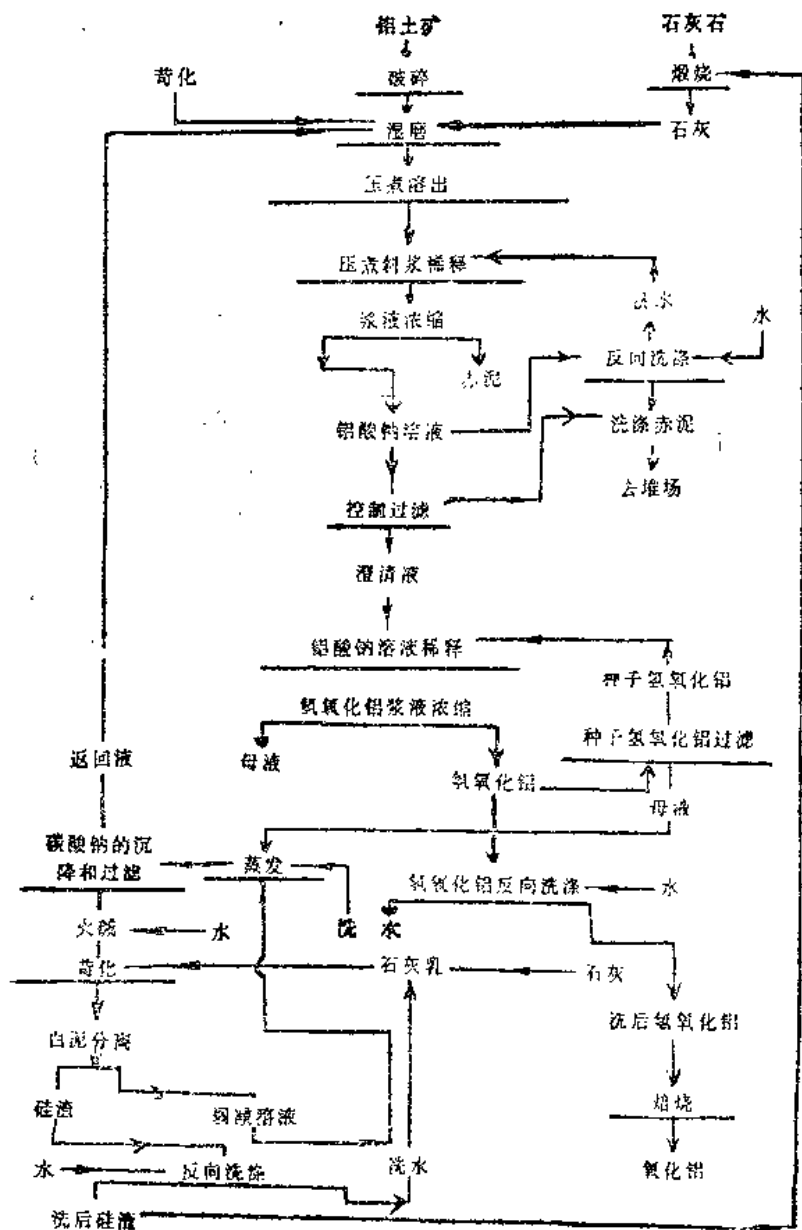


图1 拜耳法氧化铝生产工艺流程图

送磨矿的干铝土矿量为:

$$2059.92 - 4.11 = 2055.81 \text{ 公斤}$$

干石灰量为

$$2055.81 \times 0.03 = 9167 \text{ 公斤}$$

Al_2O_3 的损失同破碎中一样,也就是说在送压煮溶出的原矿浆中含有:

$$2055.81 - 4.11 = 2051.70 \text{ 公斤干铝土矿。}$$

送溶出的铝土矿中含, 公斤:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \quad 2051.70 \times 0.540 = 1107.92$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 \quad 2051.70 \times 0.236 = 484.20$$

$$\text{SiO}_2 \quad 2051.70 \times 0.040 = 82.07$$

$$\text{TiO}_2 \quad 2051.70 \times 0.022 = 45.14$$

$$\text{CaO} \quad 2051.70 \times 0.020 = 41.03$$

$$\text{CO}_2 \quad 2051.70 \times 0.016 = 32.83$$

$$\text{灼减} \quad 2051.70 \times 0.110 = 225.68$$

$$\text{其它} \quad 2051.70 \times 0.016 = 32.83$$

$$\text{合计} \quad 2051.70$$

$$\text{水分} \quad 2051.70 \times 0.07 = 143.62$$

送溶出的石灰石中含, 公斤:

$$\text{CaO} \quad 61.67 \times 0.89 = 54.89$$

$$\text{SiO}_2 \quad 61.67 \times 0.036 = 2.22$$

$$\text{CO}_2 \quad 61.67 \times 0.02 = 1.23$$

$$\text{其它} \quad 61.67 \times 0.054 = 3.33$$

$$\text{合计} \quad 61.67$$

$$\text{水分} \quad 61.67 \times 0.05 = 3.08$$

需要配入的苛性碱量:

$$62.9 + (438.8 + 7.2) = 0.141 \text{米}^3, \text{ 或}$$

$$0.141 \times 1440 = 203.04 \text{公斤}$$

随苛性碱进入, 公斤:

$\text{Na}_2\text{O}_{6\text{M}}$	62.9
CO_2	$5.1 \times 0.141 = 0.72$
H_2O (按差数)	139.42
合计	203.04

赤泥的概略组成, 公斤:

Al_2O_3	$122.36 \times 8.2/11.0 = 91.21$, 未包括 水解损失, 式中8.2和11.00%——赤 泥中不溶 Al_2O_3 的损失和总的损失 (见表1)。
-------------------------	--

Na_2O	41.70*
Fe_2O_3	484.20
TiO_2	45.14
SiO_2	$82.07 + 2.22 = 84.29$
CaO	$41.03 + 54.89 = 95.92$
其它	$32.83 + 3.33 = 36.16$
灼减	63.19

赤泥中含有 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 SiO_2 、 CaO 和一些其它物质, 其数量与压煮浆液含量相同。

未计入灼减的赤泥量为:

$$91.21 + 41.70 + 484.20 + 45.14 + 84.29 + 95.92 + 36.16 = 878.62 \text{公斤}$$

* Na_2O 损失取自实际数据 (见表1)

灼减的计算如下:

1) 若 SiO_2 在赤泥中以含水铝硅酸钠 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的组成而存在; 那么, 与84.29公斤 SiO_2 便结合:

$$84.29 \times 102 \div 120 = 71.65 \text{ 公斤 } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ 和}$$

$$84.29 \times 36 \div 120 = 25.29 \text{ 公斤 } \text{H}_2\text{O};$$

Al_2O_3 和 Na_2O 的损失量

表 1

损 失 项 目	Al_2O_3		Na_2O
	占铝土矿含 量的, %	公 斤	公 斤
储存和破碎	0.2	2.22	—
磨矿	0.2	2.22	0.5
赤泥:			
不溶解状态	8.2	91.21	41.7
溶解状态	0.4	4.45	5.10
水解	0.7	7.79	—
分解	0.2	2.23	3.8
蒸发和碳酸钠分解	0.2	2.23	4.0
石灰渣	0.2	2.22	3.8
焙烧(和成品带走)	0.7	7.79	4.0
合 计	11.0	122.36	62.9

2) 如 CaO 在赤泥中以 $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的组成而存在; 那么, 与45.14公斤 TiO_2 便结合:

$$45.14 \times 18 \div 80 = 10.16 \text{ 公斤 } \text{H}_2\text{O};$$

3) 未结合成含水铝硅酸钠的 Al_2O_3 , 如在赤泥中以 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的组成而存在; 那么, 与 $91.21 - 71.65 = 19.56$ 公斤 Al_2O_3 便结合:

$$19.56 \times 6 \times 18 \div 102 = 20.71 \text{ 公斤 } \text{H}_2\text{O};$$

4) 假设 1.8% Fe_2O_3 在赤泥中以 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 形态存在, 那么, 与 $484.2 \times 1.8 \div 100 = 8.70$ 公斤 Fe_2O_3 将结合:

$$8.70 \times 54 \div 160 = 2.94 \text{ 公斤 } \text{H}_2\text{O}.$$

合计 灼减 $= 25.29 + 10.16 + 20.71 + 2.94 = 59.07$ 公斤。总赤泥量为 $878.62 + 59.07 = 937.69$ 公斤, 如果包括水解损失的 7.79 公斤 Al_2O_3 , 则为 $937.69 + 7.79 + 7.79 \times 54 \div 102 = 949.60$ 公斤。

Na_2O 的化学损失要比应该以 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2.0 \text{ SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的组成与 84.29 公斤 SiO_2 相结合的数量低一些, 也就是说含水铝硅酸钠中的部分 Na_2O 被氧化钙代替。

由于弃赤泥未能洗净, 从而带走

$$949.60 \times 2.5 \times 0.002145 = 5.09 \text{ 公斤 } \text{Na}_2\text{O},$$

其中 4.69 公斤为 Na_2O , 式中 2.5 ——为弃赤泥的液固比; 2.145 ——弃赤泥中液相所含的 Na_2O 量, 克/升。

当弃赤泥的液相中 $\alpha_{06\text{m}} = 1.88$ 时, Al_2O_3 的损失为 1.45 公斤, 或 0.40% 。其余的 Al_2O_3 损失按照实际数据选用。

损失组成见表 1。

循环溶液量及其组成的计算

分解过程中 Al_2O_3 的产出率:

$$\frac{\alpha_{06.p.} - \alpha_{an.p.}}{\alpha_{06.p.}} \times 100 = \frac{3.8 - 1.7}{3.8} \times 100 = 55.26\%$$

所以，进入分解的铝酸钠溶液中含 Al_2O_3 ，公斤；

$$(990.0 + 7.79) \div 0.5526 = 1805.63,$$

式中 7.79—— Al_2O_3 在焙烧时的损失量，公斤；

990.0——1吨氧化铝所含的 Al_2O_3 量，公斤。

假设分解过程中无机械损失，则留于母液中的 Al_2O_3 ，公斤：

$$1805.63 - (990.0 + 7.79) = 807.84$$

当计入分解、蒸发和碳酸钠苛化过程的 Al_2O_3 损失时，则所得循环溶液中含有 Al_2O_3 ，公斤：

$$807.84 - (2.23 + 2.23 + 2.22) = 801.16 \text{ (见表1) }。$$

当 $\alpha_{\text{O.S.P.}} = 3.8$ ，其所含 Na_2O_x 量为：

$$801.16 \times 62 \times 3.8 \div 102 = 1850.52;$$

Na_2O_y 为 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{O.S.M.}}$ 的8%，即 $\frac{\text{Na}_2\text{O}_y \times 100}{\text{Na}_2\text{O}_y + \text{Na}_2\text{O}_x} = 8\%$ ，

$$\text{Na}_2\text{O}_y = (8\text{Na}_2\text{O}_x) \div 92 = 8 \times 300 \div 92 = 26.1 \text{ 克/升}。$$

循环溶液的体积，米³：

$$1850.52 \div 300 = 6.168;$$

循环溶液的重量，公斤：

$$6.168 \times 1420 = 8758.56;$$

$$\text{Na}_2\text{O}_y = 6.168 \times 26.1 = 160.98 \text{ 公斤};$$

$$\text{CO}_2 = 160.98 \times 44 \div 62 = 114.24 \text{ 公斤};$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} &= 8758.56 - 801.16 - 1850.52 - 160.98 - 114.24 \\ &= 5831.66 \text{ 公斤}。 \end{aligned}$$

原矿浆重量 = 湿铝土矿重量 + 湿石灰石重量 + 苛性碱重量 + 循环溶液重量。

所以，原矿浆重量，公斤：

$$2051.70 + 142.62 + 64.75 + 203.04 + 8758.56 - 0.50 \\ = 11221.17,$$

式中 0.50——磨矿时 Na_2O 的损失量, 公斤。

溶出时矿浆的稀释率(包括自蒸发在内)为 1.5%, 或 $11221.17 \times 0.015 = 168.31$ 公斤。

根据所得数据编制压煮溶出过程的平衡(表 2)。

压 煮 溶 出 平 衡 表 表 2

进, 公 斤		出, 公 斤	
铝土矿:		溶出浆液:	
Al_2O_3	1167.92	Al_2O_3	1909.08
Fe_2O_3	484.20	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{обм}}$	2078.90*
SiO_2	82.07	Fe_2O_3	484.20
TiO_2	45.14	SiO_2	84.29
CaO	41.03	TiO_2	45.14
CO_2	32.83	CaO	95.92
其它	32.82	CO_2	149.02
灼减	225.68	其它	36.16
H_2O	143.62	灼减	225.68
		H_2O	6286.69
合 计	2195.82	合 计	11389.48
石灰石:			
CaO	54.69		

续表 2

进 公 斤		出 公 斤	
SiO ₂	2.22		
CO ₂	1.23		
其它	3.33		
H ₂ O	3.08		
合 计	64.75		
苛性碱:			
Na ₂ O _s	61.89		
Na ₂ O _f	1.01		
CO ₂	0.72		
H ₂ O	139.42		
合 计	203.04		
循环溶液:			
Al ₂ O ₃	301.16		
Na ₂ O _s	1850.52		
Na ₂ O _f	160.68		
CO ₂	114.24		
H ₂ O	5831.66		
合 计	8758.56		
冷凝液	168.31		
总 计	11389.98	总 计	11389.98*

* 已扣除磨矿时的损失 (0.5公斤)。

浆液的稀释与沉降

赤泥的洗涤

假设稀释浆液（即铝酸钠溶液）液相中 Na_2O_x 浓度为 150.0 克/升；那么，当 $\alpha_x = 1.7$ 时， Al_2O_3 的浓度为 145.15 克/升。

当 $\alpha_{\text{O6m}} = 1.85$ 时，铝酸钠溶液中 Na_2O_y 的浓度为：

$$\frac{145.15 \times 1.85}{1.645} - 150.0 = 12.95 \text{ 克/升。}$$

CO_2 浓度为：

$$12.95 \times 44 + 62 = 9.19 \text{ 克/升，}$$

当溶液的比重为 1240 公斤/米³，则 H_2O 的含量为克/升：

$$1240.0 - (145.15 + 150.0 + 9.19 + 12.95) = 922.71$$

铝酸钠液溶的组成见表 3。

铝酸钠溶液的组成

表 3

组 成	浓 度	度
	克/升	%
Al_2O_3	145.15	11.71
K_2O_x	150.00	12.10
Na_2O_y	12.95	1.04
CO_2	9.19	0.74
H_2O	922.71	74.41
全 计	1240.0	100.0

赤泥带走铝酸钠溶液 $937.69 \times 3.0 = 2813.07$ 公斤，
 式中 937.69——赤泥重量，未计入以 $Al(OH)_3$ 形态损失的
 Al_2O_3 量；

3.0——沉降后浆液的液固比（从沉降槽出来）。

此溶液中含有，公斤：

Al_2O_3	$2813.07 \times 0.1171 = 329.41$
Na_2O_x	$2813.07 \times 0.121 = 340.38$
Na_2O_y	$2813.07 \times 0.0104 = 29.26$
CO_2	$2813.07 \times 0.0074 = 20.82$
H_2O	$2813.07 \times 0.7441 = 2093.20$

随弃赤泥液相损失 4.45 公斤 Al_2O_3 和 5.09 公斤
 $Na_2O_{\text{总}}$ ，其中 4.69 公斤 Na_2O_x 和 0.40 公斤 Na_2O_y ，水解损
 失为 7.79 公斤 Al_2O_3 和 4.12 公斤 H_2O 。

此时，进入稀释的一次洗液含有，公斤：

Al_2O_3	$329.41 - 4.45 - 7.79 = 317.17$
Na_2O_x	$340.38 - 4.69 = 335.69$
Na_2O_y	$29.26 - 0.40 = 28.86$
CO_2	$20.82 - 0.28 = 20.54$
H_2O (按差值)	7129.91

合 计	7832.17
-----	---------

进入溶出浆液稀释的洗液中的水量以铝酸钠溶液、赤泥
 和溶出浆液中水量之差值来计算。

铝酸钠溶液中 117.10 公斤 Al_2O_3 带有 744.10 公斤 H_2O
 （见表 3），则 $1909.08 - 91.21 + 317.17 = 2135.04$ 公 斤
 Al_2O_3 所带 H_2O 量为：

$$2135.04 \times 744.10 + 117 = 13578.49 \text{ 公斤,}$$

式中 1909.08——溶出浆液中 Al_2O_3 含量, 公斤;

91.21——赤泥中 Al_2O_3 含量, 公斤;

317.17——一次洗液中 Al_2O_3 含量, 公斤。

洗液中含 H_2O 量:

$$13578.49 + 63.19 - 225.68 - 6286.09 = 7129.91 \text{ 公斤,}$$

式中 13578.49——铝酸钠溶液中的 H_2O 量;

63.19——赤泥的灼减;

225.68——溶出浆液的灼减(见表2);

6289.09——溶出浆液中的 H_2O 量(见表2)。

根据计算编制稀释、沉降和赤泥洗涤的平衡(见表4~6)。

稀 释 平 衡 表 表 4

进, 公 斤		出, 公 斤	
溶出浆液(见表2):		稀释浆液	
Al_2O_3	1909.08	赤泥:	
$\text{Na}_2\text{O}_{\text{O6M}}$	2073.60	Al_2O_3	91.21
Fe_2O_3	484.20	Na_2O	41.70
SiO_2	84.29	Fe_2O_3	484.20
TiO_2	45.14	TiO_2	45.14
CaO	95.92	SiO_2	84.26
CO_2	149.02	CaO	95.92
其它	36.16	其它	36.16
灼减	225.68	灼减	59.07
H_2O	6286.09		
合 计	11389.48	合 计	937.69