

839121

517624

• 高等学校教学用书 •

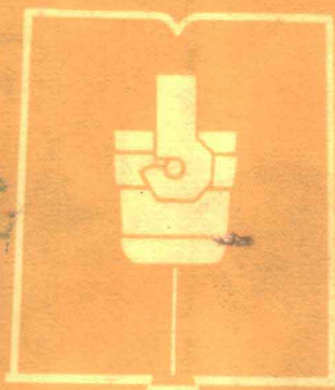
5/4413

氧化铝生产的 工艺计算

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU

524

513



冶金工业出版社

高等学校教学用书

氧化铝生产的 工艺计算

[苏] Л.Б.萨玛良诺娃 著
A.И.莱涅尔

许广兴 等译

上官正 校

冶金工业出版社

高等学校教学用书
氧化铝生产的工艺计算

〔苏〕Л.Б.萨玛良诺娃
A.И.莱涅尔 著

许广兴 等译

上官正 校

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张10.1/8 字数 286 千字

1987年11月第一版 1987年11月第一次印刷

印数00,001~3,100册

统一书号: 15062·4634 定价 2.00元

ISBN 7-5024-0042-7/TF·11

译 者 的 话

苏联1981年出版的, 由Л.Б.Самарянова与А. И.Лайнер合著的《ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГЛИНОЗЕМА》一书, 是一本系统而全面地阐述氧化铝生产工艺计算的教科书。

本书对氧化铝生产的一些主要方法的物料流量及其设备的计算进行了系统而全面的阐述。其主要内容包括: 各种氧化铝生产方法的概述; 详细地并举例讲述了各种氧化铝生产方法的物料平衡计算; 分别对七类设备——压煮器组、赤泥分离沉降槽和洗涤沉降槽、晶种分解工序的主要设备、四效蒸发器组、煅烧回转窑、沸腾煅烧炉以及烧结回转窑等的物料流量、设备选择及热平衡的计算作了系统的介绍。该书所列举的物料及设备计算方法, 亦可供从事氧化铝生产工作的科研、设计与生产管理等部门的工程技术人员参阅。

在翻译过程中, 对原书的错误尽量作了校正或注释。对某些专有工艺过程的译法尽量参照我国氧化铝工业的习惯予以译述。

本书由许广兴、孟庆甄译, 上官正校阅。由于译者水平所限, 译文中的缺点错误在所难免, 望读者批评指正。

1986年8月

前 言

目前，铝工业在苏联工业中占有重要的地位，在这个五年计划和其后的几年里，氧化铝和铝工业要有相当大的发展，为此将建设许多新的氧化铝和铝的工厂。

最新科学技术成果在生产工艺中的采用、高效率生产设备的使用、以及生产过程的机械化和自动化改变着现代企业的总面貌。苏联是世界上首次在工业上使用氧化铝含量低的劣等原料——霞石、明矾石和高硅铝土矿生产氧化铝的国家。

铝工业生产技术的进步，要求培养出有才能的高级技术干部、工程师和研究工作者。要求他们能够解决复杂的工艺问题，能够管理生产和进行物料平衡与生产设备的计算。

可惜，在我们的高等学校和中等技术学校里，迄今为止还没有这类教科书可帮助学生们完成课程设计和毕业设计。这本教科书介绍了氧化铝生产工艺过程的物料平衡和主要工艺设备的计算方法，因而它可帮助高等冶金院校和中等技术学校的学生们完成课程设计和毕业设计。

目 录

1 物料流量计算	1
1.1 拜耳法从铝土矿中生产氧化铝的物料平衡.....	1
1.2 苏打-石灰烧结法从铝土矿中生产氧化铝的物料平衡.....	22
1.3 拜耳-烧结联合法从铝土矿中生产氧化铝的物料平衡.....	43
1.4 从霞石中生产氧化铝的物料平衡.....	88
2 氧化铝生产的主要设备计算	122
2.1 溶出铝土矿的压煮器组.....	122
2.2 赤泥分离沉降槽和洗涤沉降槽.....	158
2.3 晶种分解工序的主要设备.....	175
2.4 四效蒸发器组.....	185
2.5 煅烧回转窑.....	199
2.6 沸腾煅烧炉.....	233
2.7 烧结铝土矿炉料的回转窑.....	271
参考文献	315

1 物料流量计算

物料流量计算，即物料平衡计算，系按生产1吨氧化铝为基准进行。图1为拜耳法生产氧化铝的工艺流程图。

1.1 拜耳法从铝土矿中生产氧化铝的物料平衡

1.1.1 原始数据

1) 铝土矿的化学组成[●]，%： 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；其他1.6（总计100%）；水分（ H_2O ）>7.0。

石灰的化学组成，%： $\text{CaO}_{\text{重}}$ 86.4； $\text{CaO}_{\text{轻}}$ 2.6； SiO_2 3.6； CO_2 2.0；其他5.4（总计100%）；水分（ H_2O ）5.0。

2) 苛性碱组成，克/升： $\text{Na}_2\text{O}_{\text{苛}}$ 438.8； $\text{Na}_2\text{O}_{\text{重}}$ 7.2； CO_2 5.1；密度1440公斤/米³。

3) 氧化铝总回收率89.0%。

4) 石灰添加量为干铝土矿的3%。

5) 循环母液的组成，克/升： $\text{Na}_2\text{O}_{\text{苛}}$ 300.0； Al_2O_3 129.87； $\text{Na}_2\text{O}_{\text{重}}$ 26.10； CO_2 18.52； H_2O 945.50；密度1420公斤/米³； $\alpha_{\text{苛}}=3.8$ 。

6) 粗液的组成，克/升： Al_2O_3 145.15；密度1240公斤/米³； $\alpha_{\text{苛}}=1.7$ 。

7) Na_2O 损失62.9公斤。

8) 分离沉降槽底流液/固=3.0；最后一次洗涤槽底流液/固=2.5。

9) 弃赤附液中 Na_2O 含量2.145克/升。

10) 考虑到自蒸发器中的自蒸发，溶出时矿浆稀释1.5%。

● 按矿物学特性，该铝土矿属于一水硬铝石—一水软铝石型。

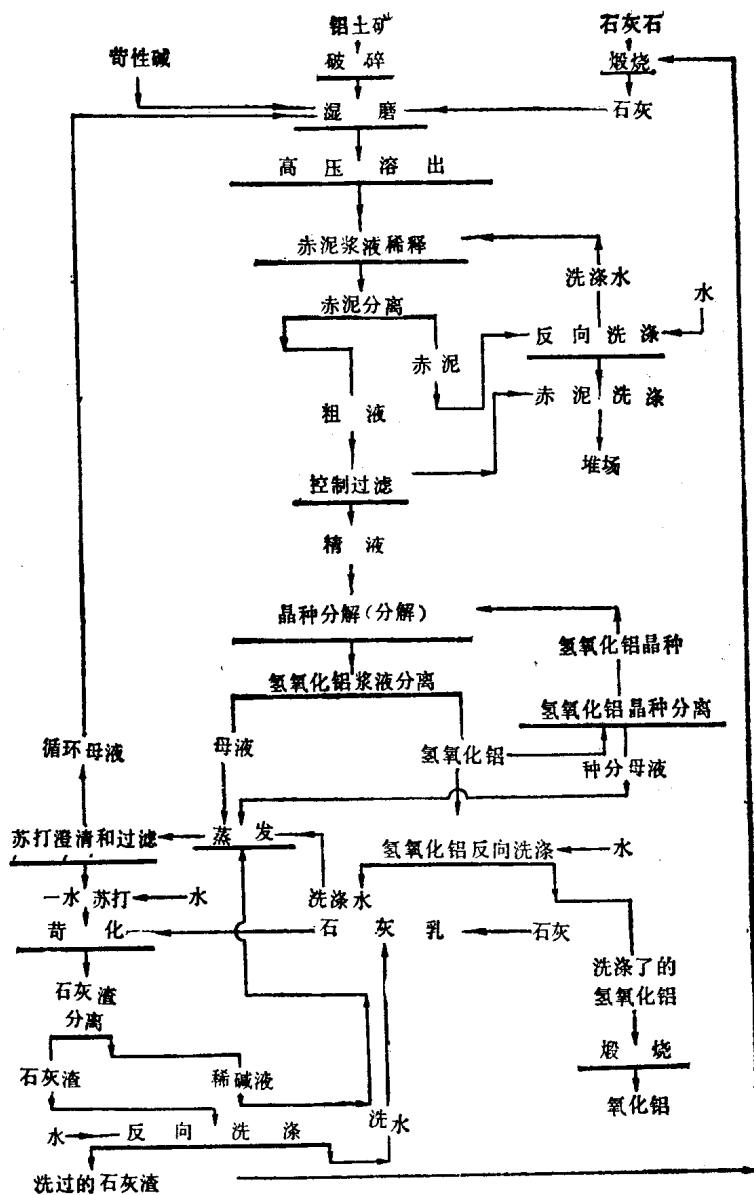


图 1 拜耳法生产氧化铝的工艺流程图

11) 晶种比2.0, 氢氧化铝晶种的水分为20.0%; 分离后的氢氧化铝浆液的液/固=1.0。

12) 氢氧化铝洗涤水的消耗量为1吨, 氢氧化铝滤饼的含水量为10.0%。

13) 随一水苏打带走的循环母液量为湿苏打沉淀量的25%。

14) 苛化时的石灰数量为化学反应计算量的125%; 苛化率为90%。

15) 苛化时, 苏打-石灰浆液的液相中含 Na_2O_a 为10.0%, 弃石灰渣含水25.0%。

1.1.2 损失计算

在氧化铝的总回收率为89.0%的条件下, 如果制取1吨含有990.0公斤成品氧化铝, 则需要

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

干铝土矿, 其中应含有氧化铝

$$2059.92 \times 0.54 = 1112.36 \text{ 公斤}$$

因而, 氧化铝的总损失量为

$$1112.36 - 990.0 = 122.36 \text{ 公斤}$$

其中, 破碎时氧化铝的损失量为生产一吨氧化铝所需的总 Al_2O_3 量的0.2%, 即为

$$0.2 \times 122.36 / 11.0 \textcircled{1} = 2.22 \text{ 公斤 氧化铝}$$

$$2.22 / 0.54 = 4.11 \text{ 公斤 干铝土矿}$$

进入湿磨工序的干铝土矿为

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

干石灰量为

$$2055.81 \times 0.03 = 61.67 \text{ 公斤}$$

湿磨时 Al_2O_3 的损失与破碎时相同, 即只有

$$2055.81 - 4.11 = 2051.70 \text{ 公斤}$$

干铝土矿进入压煮溶出的原矿浆中。

● 11.0为 $(100 - 89) \% = 11.00\%$ 。——译者

进入溶出的物料，公斤：

由铝土矿带入

Al_2O_3	$2051.70 \times 0.540 = 1107.92$
Fe_2O_3	$2051.70 \times 0.236 = 484.20$
SiO_2	$2051.70 \times 0.040 = 82.07$
TiO_2	$2051.70 \times 0.022 = 45.14$
CaO	$2051.70 \times 0.020 = 41.03$
CO_2	$2051.70 \times 0.016 = 32.83$
灼减	$2051.70 \times 0.110 = 225.68$
其他	$2051.70 \times 0.016 = 32.83$
合计	2051.70
水分	$2051.70 \times 0.07 = 143.62$

由石灰带入

CaO	$61.67 \times 0.89 = 54.89$
SiO_2	$61.67 \times 0.036 = 2.22$
CO_2	$61.67 \times 0.02 = 1.23$
其他	$61.67 \times 0.054 = 3.33$
合计	61.67
水分	$61.67 \times 0.05 = 3.08$

须要加入的苛性碱为

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

即

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

苛性碱带入，公斤；

$\text{Na}_2\text{O}_{\text{总}}$	62.90
CO_2	$5.1 \times 0.141 = 0.72$
H_2O (按差值计)	139.42
合计	203.04

赤泥的大致组成，公斤

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \quad 122.36 \times 8.2 / 11.0 = 91.21, \text{ 没有计算水解损失, 式中 } 8.2\% \text{ 和 } 11.0\% \text{ 为氧化铝在赤泥中的}$$

不溶性损失和总损失 (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	$41.03 + 54.89 = 95.92$
其他	$32.83 + 3.33 = 36.16$
灼减	63.19

在赤泥中应含有 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 SiO_2 、 CaO 和其他与溶出后矿浆同样多的组分。赤泥组分的总量为

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

灼减计算如下:

1) 赤泥中 SiO_2 以含水硅铝酸钠 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 形式存在, 则84.29公斤 SiO_2 结合 $84.29 \times 102/120 = 71.65$ 公斤 Al_2O_3 和 $84.29 \times 36/120 = 25.29$ 公斤 H_2O ;

2) 赤泥中 CaO 以 $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的形式存在, 则45.14公斤 TiO_2 结合 $45.14 \times 18/80 = 10.16$ 公斤 H_2O ;

3) 赤泥中没有化合成含水硅铝酸钠的 Al_2O_3 以 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的形式存在, 则 $91.24 - 71.65 = 19.59$ 公斤 Al_2O_3 结合 $19.59 \times 6 \times 18/102 = 20.74$ 公斤 H_2O ;

4) 设有1.8% Fe_2O_3 在赤泥中以 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的形式存在, 则 $484.2 \times 1.8/100 = 8.72$ 公斤 Fe_2O_3 结合 $8.72 \times 54/160 = 2.94$ 公斤的 H_2O 。

上述灼减量总计为

$$25.29 + 10.16 + 20.74 + 2.94 = 59.07 \text{ 公斤}$$

则赤泥量为

● Na_2O 损失采用实际数据 (表1)。

$$878.62 + 59.07 = 937.69 \text{ 公斤}$$

当计入由于水解作用而损失的7.79公斤 Al_2O_3 时，则赤泥量为

$$937.69 + 7.79 + 7.79 \times 50/102 = 949.60 \text{ 公斤}$$

Na_2O 的化学损失稍低于在组成为 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 时同84.29公斤 SiO_2 相结合的 Na_2O 量，因为含水硅铝酸钠中有部分 Na_2O 被 CaO 所取代。

由于洗涤不完全，故随弃赤泥损失的 Na_2O 为

$$949.60 \times 2.5 \times 0.002145 \text{①} = 5.09 \text{ 公斤} \text{②}$$

其中包含有4.69公斤 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{附}}$ 。式中的2.5为弃赤泥的液固比；2.145为弃赤泥附液中的 Na_2O 含量，克/升。当弃赤泥附液的 $\alpha_{\text{总}} = 1.88$ 时，在其中有4.45公斤即0.4%的 Al_2O_3 损失了。其余的 Al_2O_3 损失按工序采用实际数据。

各组分的损失值列于表1中。

1.1.3 循环母液的组分和数量计算

Al_2O_3 分解率：

$$\frac{\alpha_{\text{母}} - \alpha_{\text{精}}}{\alpha_{\text{母}}} \times 100 = \frac{3.8 - 1.7}{3.8} \times 100 = 55.26\%$$

因此，去分解的精液中含有 Al_2O_3 ：

$$(990.0 + 7.79) / 0.5526 = 1805.63 \text{ 公斤}$$

式中 7.79——煅烧时 Al_2O_3 的损失，公斤；

990.0——1吨氧化铝成品中的 Al_2O_3 含量，公斤。

如果不考虑机械损失，则母液中仍有 Al_2O_3 ：

$$1805.63 - (990.0 + 7.79) = 807.84 \text{ 公斤}$$

如考虑 Al_2O_3 在分解、蒸发和苏打苛化时的损失，则循环母液中的 Al_2O_3 含量为：

$$807.84 - (2.23 + 2.23 + 2.22) = 801.16 \text{ 公斤 (表1)}$$

当 $\alpha_{\text{母}} = 3.8$ 时，循环母液中 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{母}}$ 的含量为：

① 原文为0.02145。——译者

② 原文为5.10。——译者

Al₂O₃和Na₂O损失

表 1

损 失 种 类	Al ₂ O ₃		Na ₂ O (公斤)
	占铝土矿中%	公 斤	
堆场及破碎	0.2	2.22	—
湿磨	0.2	2.22	0.5
赤泥带走			
以不溶解形式	8.2	91.21	41.70
以可溶解形式	0.4	4.45	5.09 ^①
水解	0.7	7.79	—
分解	0.2	2.23	3.8
蒸发及析出苏打	0.2	2.23	4.0
石灰乳渣	0.2	2.22	3.8
煅烧 (包括成品带走)	0.7	7.79	4.0
总计	11.0	122.36	62.9

① 原文为5.19。——译者

$$801.16 \times 62 \times 3.8 / 102 = 1850.52 \text{ 公斤}$$

Na₂O_碱量为Na₂O_{总量}的8%，即：

$$\frac{\text{Na}_2\text{O}_{\text{碱}} \cdot 100\%}{\text{Na}_2\text{O}_{\text{碱}} + \text{Na}_2\text{O}_{\text{苛}}} = 8\%$$

$$\begin{aligned}\text{Na}_2\text{O}_{\text{碱}} &= (8\text{Na}_2\text{O}_{\text{苛}}) / 92 \\ &= 8 \times 300 / 92 = 26.1 \text{ 克/升}\end{aligned}$$

循环母液的体积为：

$$1850.52 / 300 = 6.168 \text{ 米}^3$$

循环母液的重量为

$$6.168 \times 1420 = 8758.56 \text{ 公斤}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{碱}} = 6.168 \times 26.1 = 160.98 \text{ 公斤}$$

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

$$\begin{aligned}\text{H}_2\text{O} &= 8758.56 - 801.16 - 1850.52 - 160.78 - 114.24 \\ &= 5831.66 \text{ 公斤}\end{aligned}$$

原矿浆量 = 湿铝土矿量 + 湿石灰量

+ 苛性碱量 + 循环母液量

高压溶出平衡

表 2

收入, 公斤		支出, 公斤	
铝土矿		赤泥浆液	
Al ₂ O ₃	1107.92	Al ₂ O ₃	1909.08
Fe ₂ O ₃	484.20	Na ₂ O _总	2073.90 ^①
SiO ₂	82.07	Fe ₂ O 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
其他	32.83	CO ₂	149.02
灼减	225.68	其他	36.16
H ₂ O	143.62	灼减	225.68
合计	2195.32	H ₂ O	6286.09
石灰		合计	11389.48
CaO	54.89		
SiO ₂	2.22		
CO ₂	1.23		
其他	3.33		
H ₂ O	3.08		
合计	64.75		
苛性碱			
Na ₂ O _苛	61.89		
Na ₂ O _碱	1.01		
CO ₂	0.72		
H ₂ O	139.42		
合计	203.04		
循环母液			
Al ₂ O ₃	801.16		
Na ₂ O _苛	1850.52		
Na ₂ O _碱	160.98		
CO ₂	114.24		
H ₂ O	5831.66		
合计	8758.56		
冷凝水			
	168.31		
总计	11389.98	总计	11389.98 ^①

① 未计入湿磨损失 (0.5公斤Na₂O)。

则原矿浆量为:

$$2051.70 + 143.62 + 64.75 + 203.04 + 8758.56 - 0.50 \\ = 11221.17 \text{公斤}$$

式中 0.50——湿磨时 Na_2O 的损失量, 公斤。

计入矿浆在自蒸发器中的自蒸发量, 溶出时矿浆稀释1.5%, 亦即

$$11221.17 \times 0.015 = 168.31 \text{ 公斤冷凝水}$$

根据上述计算所得数据列出高压溶出的平衡表如表2所示。

1.1.4 赤泥浆液的稀释、分离和赤泥洗涤

稀释后的赤泥浆液的液相中(粗液中), $\text{Na}_2\text{O}_{\text{苛}}$ 的浓度为150.0克/升, 则当 $\alpha_{\text{苛}}=1.7$ 时, 其 Al_2O_3 浓度为145.15克/升。

当 $\alpha_{\text{总}}=1.85$ 时, 粗液中 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{总}}$ 的浓度为:

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

CO_2 的浓度为:

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

当粗液的密度为1240公斤/米³时, H_2O 的浓度为:

$$1240.0 - (145.15 + 150.0 + 9.19 + 12.95) = 922.71 \text{ 克/升}$$

粗液的组成列于表3中。

粗 液 的 组 成

表 3

组 分	浓 度	
	克/升	%
Al_2O_3	145.15	11.71
$\text{Na}_2\text{O}_{\text{苛}}$	150.00	12.10
$\text{Na}_2\text{O}_{\text{总}}$	12.95	1.04
CO_2	9.19	0.74
H_2O	922.71	74.41
合 计	1240.0	100.0

赤泥带走的粗液量为:

$$937.69 \times 3.0 = 2813.07 \text{ 公斤}$$

式中 937.69——不计入以 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 形式损失的 Al_2O_3 时的赤泥量, 公斤;

3.0——分离后赤泥液固比。

在上述粗液中含有，公斤：

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \quad 2813.07 \times 0.1171 = 329.41$$

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{苛}} \quad 2813.07 \times 0.121 = 304.38$$

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{碱}} \quad 2813.07 \times 0.0104 = 29.26$$

$$\text{CO}_2 \quad 2813.07 \times 0.0074 = 20.82$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad 2813.07 \times 0.7441 = 2093.20$$

随同弃赤泥的附液，损失4.45公斤 Al_2O_3 和5.09公斤 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{总}}$ ，其中含有4.69公斤 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{苛}}$ 和0.40公斤 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{碱}}$ 。水解损失7.79公斤 Al_2O_3 和4.12公斤水。

则同一次洗水送回稀释工序的物料量为，公斤：

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \quad 329.41 - 4.45 - 7.79 = 317.17$$

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{苛}} \quad 340.38 - 4.69 = 335.69$$

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{碱}} \quad 29.26 - 0.40 = 28.86$$

$$\text{CO}_2 \quad 20.82 - 0.28 = 20.54$$

$$\begin{array}{r} \text{H}_2\text{O}(\text{按差值计}) \quad 7129.91 \\ \hline \text{合计} \quad 7832.17 \end{array}$$

用洗水稀释赤泥浆液时，水的加入量由粗液和赤泥中的水量与赤泥浆液中的水量差值决定。

在粗液中，每117.10公斤 Al_2O_3 占有744.10公斤 H_2O (表3)，则

$$1909.08 - 91.21 + 317.17 = 2135.04$$

公斤 Al_2O_3 占有的 H_2O 量为：

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

式中 1909.08——赤泥浆液中 Al_2O_3 量，公斤；

91.21——赤泥中 Al_2O_3 量，公斤；

317.17——一次洗涤的洗水中 Al_2O_3 量，公斤。

洗水中的水量为：

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

式中 13578.49——粗液中的水量；

63.19——赤泥的灼减量；

225.68——赤泥浆液的灼减量（表2）；

6286.09——赤泥浆液中的水量（表2）。

根据计算得出的赤泥浆液稀释、赤泥分离和赤泥洗涤的物料平衡见表4～表6。

赤泥浆液稀释平衡

表 4

收入，公斤		支出，公斤	
赤泥浆液（表2）		稀释后的赤泥浆液1934.38	
Al ₂ O ₃	1909.08	赤泥	Al ₂ O ₃ 91.21
Na ₂ O _总	2073.90		Na ₂ O 41.70
Fe ₂ O ₃	484.20		Fe ₂ O ₃ 484.20
SiO ₂	84.29		TiO ₂ 45.14
TiO ₂	45.14		SiO ₂ 84.29
CaO	95.92		CaO 95.92
CO ₂	149.02		其他 36.16
其他	36.16		灼减 59.07
灼减	225.68		
H ₂ O	6286.09		
合计	11389.48	合计	937.69
洗水		粗液（按差值计）	
	Al ₂ O ₃ 317.17	Al ₂ O ₃	2135.04
	Na ₂ O _苛 335.69	Na ₂ O _苛	2157.83
	Na ₂ O _总 28.86	Na ₂ O _总	238.92
	CO ₂ 20.54	CO ₂	169.56
	H ₂ O 7129.91	H ₂ O	13582.61
合计	7832.17	合计	18283.96
总计	19221.65	总计	19221.65

1.1.5 精液的晶种分解

加入精液晶种分解工序的1805.63公斤Al₂O₃中，仍有801.16公斤留在母液中（表2）。分解、蒸发和苏打苛化共损失了6.68公斤Al₂O₃（表1）。因此，以氢氧化铝形态析出

$$1805.63 - (801.16 + 6.68) = 997.79$$

公斤Al₂O₃，其分解率为