

氧化铝回收及效益

四种经营模式及其经济和环境影响

M. Brouwer

M.Brouwer@AlcorTechnology.com, Alcor Technology BV, The Netherlands

摘要

大多数氧化铝厂都以高回收率和低成本为其运营目标。由于这些传统的运营模式会限制产量，因此，氧化铝厂的经济效益还有提高的空间。本文叙述了如何提高氧化铝厂的最经济的溶出比，以及计算改进其现金流的改进情况。

由于最经济的运营模式往往意味着铝土矿的氧化铝回收率较低，所以提高氧化铝厂的可持续发展能力还有空间。本文概述了在氧化铝厂用一种称作 M2M 的设备，通过对沉降槽的赤泥的再溶出来回收溶出和沉降洗涤过程中损失的氧化铝。

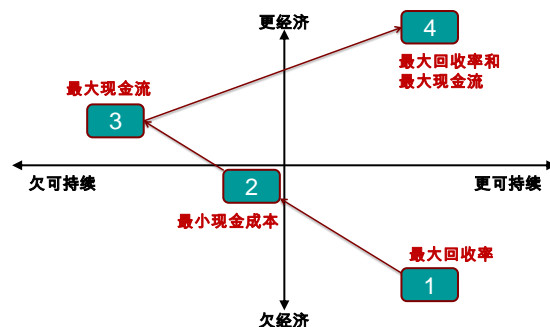
由 M2M 装置额外生产出来的氧化铝成本非常低，主要是因为这些氧化铝本来是会随赤泥一起损失掉的。本文介绍了 M2M 装置以及这种设备如何使氧化铝厂增加产量和现金流，并同时改善其环境绩效。

1 氧化铝厂的目标

氧化铝厂的经营者或设计者们经常会自夸他们所实现的高氧化铝回收率和低现金成本。虽然高氧化铝回收和低现金成本的益处显而易见,我们也要注意避免一叶障目,而仅仅坚持其中的某个目标。每个氧化铝厂的最终目标都是获得最大效益,而同时尽量减少对环境的影响。

本文中提到的四个目标是：

1. 氧化铝回收率最大化；
2. 现金成本最小化；
3. 现金流最大化；
4. 现金流最大化及氧化铝回收率均为最大化。



每个目标都涉及一种不同的运营方式以及不同的溶出液比。实现第四个目标则需要安装称作 M2M 的装置。

每一种运营模式将在以下各部分单独阐述，包括该运营模式下如何达到设定目标，对氧化铝厂的环境和经济绩效产生何种影响。阐述中所提供的数目都是基于一个典型的年产量为 200 万吨（冶炼级氧化铝，SGA）的氧化铝厂。

2 目标 1：氧化铝回收率最大化

2.1 氧化铝损失

显然，最理想的状况是 100% 铝土矿中可提取的氧化铝能在进入溶出后最终都成为煅烧窑的产品。然而，有一定比例的损失是无法避免的，而典型的氧化铝回收率在 90%-96% 范围之内。在这里，氧化铝回收率的定义为“冶炼级氧化铝(SGA)与铝土矿中可提取的氧化铝”的重量比，以百分比表示。

氧化铝厂的氧化铝损失包括：

- 过滤助剂损失；
- 粉尘损失；
- 粗糙的研磨使得铝土矿颗粒过大，无法析出引起的损失；
- 在储存的赤泥浆的附液中的可溶性氧化铝；
- 在沉降槽和洗涤槽中的逆反应损失（也称作水化或自分解）；
- 由于铝土矿给料过多导致无法提取的氧化铝损失。

由于逆反应和不完全提取损失的氧化铝最后留在铝土矿残渣中，这就增加了将要储存的泥浆。这些可回收的损失量是变化的，与所选择的生产技术相关。

氧化铝回收率高说明在加工中氧化铝损失很小。如果大量减少用于溶出的铝土矿的给料，回收率可以高达 98%，可回收的氧化铝损失少于 1%¹。

2.2 回收率与溶出比

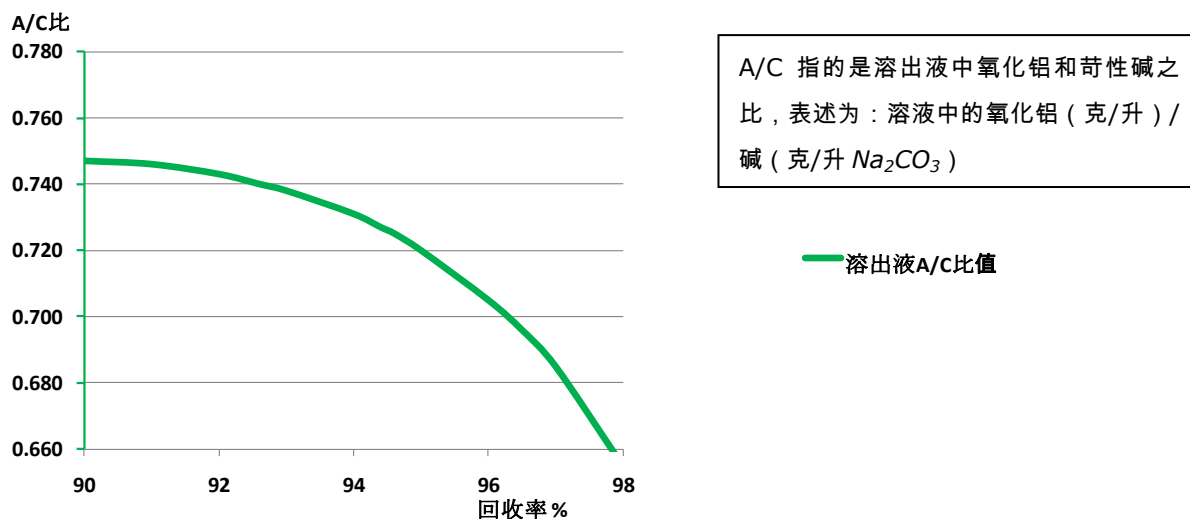
众所周知，溶出的铝土矿给料少，将导致溶出液的 A/C 比²低，这样由于逆反应中的损失很少甚至没有³，使得提取充分完全，氧化铝的回收率得以提高。同样，溶出的铝土矿给料多，虽然溶出液的产量高，溶出液的 A/C 比高，但由于逆反应损失加多，甚至提取不完全，会导致回收率下降。如下图所示：

备注：

1 理论上，由于最后得到的冶炼级氧化铝含有 1.3% 的杂质，其中主要是烧失量（LOI）和碱，没有氧化铝损失的整体回收率应该超过 100%。

2. 低 A/C 比相当于 RP 值低（ $RP=1.71 \cdot A/C$ ）和高摩尔比（ $MR = 0.962 \cdot C/A$ ）。

3. 逆反应损失也依赖于诸如沉降槽和洗涤槽中的温度等其他因素。

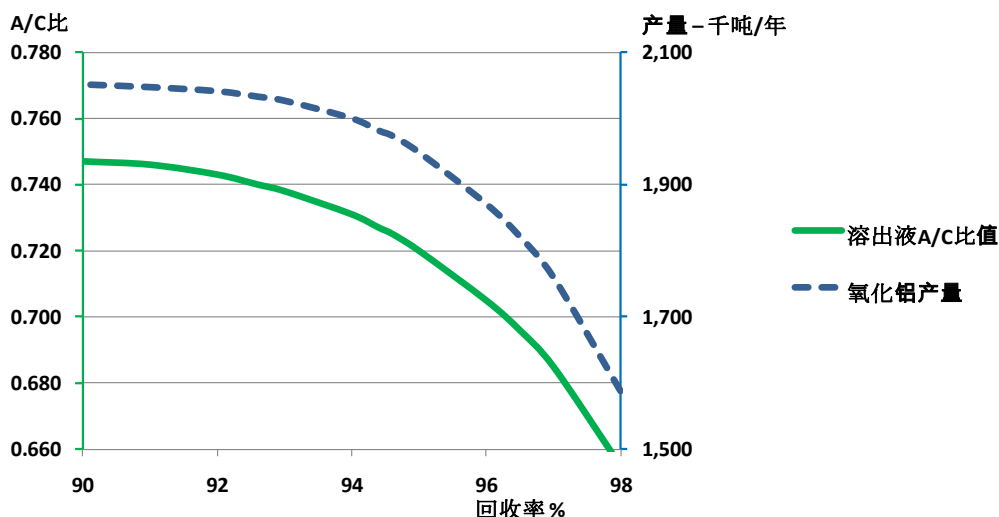


以上和下面的图只是为了例证需要。曲线的精确位置每个氧化铝厂都有差异。在4.2节中描述了如何确定特定氧化铝厂的 A/C 比与回收率之间的数值关系。

2.3 相互矛盾的溶出目标

以高回收率为目标的氧化铝厂必须使其溶出 A/C 比以及铝土矿给料相对较低，因此，其安装的设备产量相对较低，投资高。

一个已经以最大流量及最佳分解液苛性浓度运营的氧化铝厂，只能通过增加溶出的铝土矿给料来提高产量，也就是提高溶出 A/C 比，于是只能接受相应的低回收率。下图及以上图中已经说明一个典型的产能为 200 万吨/年的氧化铝厂的产量（见右边的纵轴）。



该图表明：如果降低回收率的话，氧化铝产量会增加。然而，当 A/C 比接近最大值，或达到平衡比值时，铝土矿给料增加对增加产量的影响越来越小，这是因为溶出

提取量减少，而沉降槽和洗涤塔中的逆反应损失增加。因此，越来越多可提取的氧化铝留在送往洗涤的铝土矿残渣中，储存到赤泥堆场。

以上难题是由下面互相冲突的溶出目标引起的：

- 使氧化铝提取最大化 → 铝土矿溶出液装料不足
- 使氧化铝产量最大化 → 铝土矿溶出液装料过多。

图右方表示的是第一个目标，左边是第二个目标；图中也澄清了为什么不能同时实现氧化铝高产量和高回收率，至少是不能在一个溶出系统中实现。

2.4 氧化铝回收率最大化的总结

运营方式 铝土矿给料少，溶出液比率低，回收率高

环境影响 铝土矿利用高(铝土矿系数),残渣量少(赤泥浆系数)

经济影响 氧化铝产量低, 溶液利用率低, 投资利用差, 现金流少

实际上没有一个氧化铝厂会以理论上的最高回收率为目标，因为低生产率是很不经济的。

3 目标 2：现金成本最小化

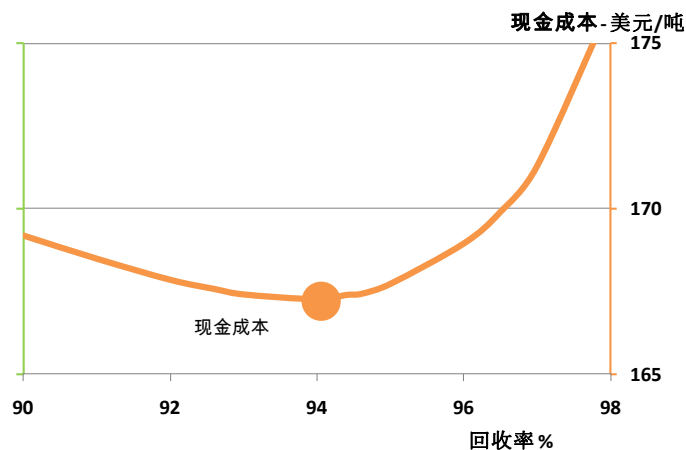
以现金成本最小化为目标看上去似乎是理所当然的。现金成本，同时也称之为运营成本或生产成本，包括：

- 铝土矿成本
- 苛性碱成本
- 能源成本（供锅炉，焙烧炉等）
- 残渣存储成本
- 其它可变成本
- 固定成本

由于原料的价格不受氧化铝厂的控制，所以要实现较低的现金成本，只能依赖于提高原料的使用效率，而这相应地就与氧化铝厂的氧化铝回收率、溶出比和生产率直接相关。

3.1 回收与现金成本

回收率高，产量却如此之低以至于每吨氧化铝生产的现金成本中固定成本中所占的比重很大。要提高产量可增加铝土矿给料，这样会摊薄固定成本并降低现金成本。然而，随着回收率降低和氧化铝损失增加，每吨产品所消耗的铝土矿和苛性碱增加，需要储存的赤泥浆增加，这样将导致现金成本在到达某点后转而上升，见下图。



上图针对具体的氧化铝厂，当然也依赖于市场的原料价格情况。

图中最低现金成本对应 94%左右的回收率。图表也反映出回收率在 92~95%的范围内，现金成本的变化几乎微不足道。

如果是高 A/C 比运营，同一套溶出装置（投资）能够生产出更多溶解的氧化铝。虽然提高 A/C 比对回收率和现金成本有消极影响，从增加的氧化铝销售中获得的收入能够弥补现金成本高的不足，至少在到达某个点后抵消，下一节有详细说明。

因此，当我们意识到与这种运营方式相关联的产量局限性之后，会发现关注现金成本最小化是一种误解。

3.2 现金成本最小化小结

运营方式： 铝土矿给料适中，溶出液比适中，回收率适中；

环境影响： 铝土矿利用良好（铝土矿系数），残渣量适中（赤泥浆系数）；

经济影响： 氧化铝产量适中，溶出液产率适中，投资利用适中，现金流适中。

实际上，很多氧化铝厂努力甚至是明确下令以现金成本最低化来经营，把达到相关的回收率看作是头等大事。然而，当察觉到氧化铝回收的产量局限之后，很明显，氧化铝厂不能把最低现金成本作为目标。

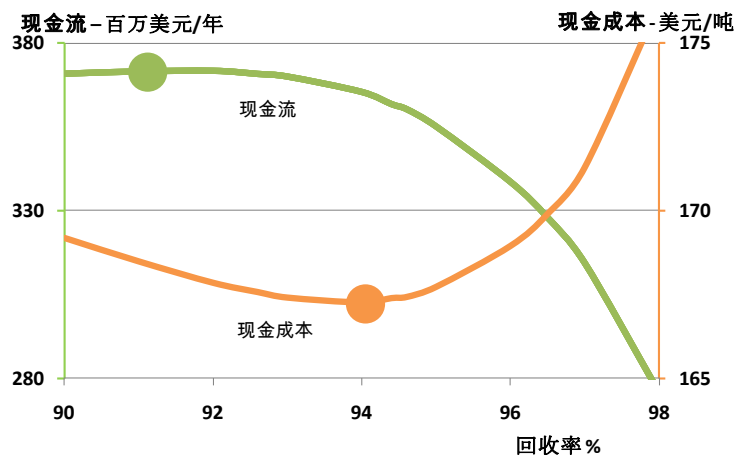
4 目标 3：现金流最大化

氧化铝厂的最终目的是达到收益最大化。一旦已经投资，氧化铝厂的利润将会直接与现金流相关（美元/年）。

4.1 回收率与现金流

$$\text{现金流} = \text{产量 (吨/年)} \times \{ \text{氧化铝销售价格 (美元/吨)} - \text{现金成本 (美元/吨)} \}$$

氧化铝的销售价格是由市场决定，不受氧化铝厂的控制。如前所述，现金成本在某个回收率时达到一个最小值，同时，在更低的回收率时，产量和销售收入上升。两者的净效益在以下现金流与现金成本对应的图中阐明。这是一个典型的年产量为 200 万吨氧化铝厂的现金流（左边的纵轴）图。



上图针对具体的氧化铝厂，当然也依赖于市场的原料价格情况。

图中最低现金成本对应 94% 的回收率，而最高现金流相应的回收率大约是 91%。氧化铝厂若以更低的回收率运营，将会使现金流减少，同时增加对环境绩效的负面影响。

4.2 最大现金流的决定及其运营状况

最大现金流运营所要求的溶出液比可以很容易地由车间试验得出。在试验中，每一步少量增加溶出液比，各步之间有足够多的时间使操作改变带来的效果能达到最后一个赤泥洗涤槽，并使溶出器达到一种新的稳定操作状态。试验中，氧化铝厂是以最大的溶液流量操作。只要没遇到瓶颈或其他操作局限，铝土矿给料能进一步增加，直到溶出液比接近试验室断点测试中的最大值。

以下表中详细列出了每一步中溶出液 A/C 比及相关的氧化铝产量和回收率。

溶出液 A/C 比	-	0.720	0.727	0.731	0.738	0.740	0.743	0.746	0.747
冶炼级氧化铝产量	kt/y	1949	1982	2000	2027	2033	2041	2047	2051
回收率	%	95.0	94.4	94.0	93.0	92.6	92.0	91.0	90.0

每一步的回收率都是由熟知的固定氧化铝损失及可变的（可回收的）进入储存赤泥浆中的三水铝石形态的氧化铝计算出的。三水铝石形态的氧化铝含量能够很容易地由差热式扫描量热仪（DSC/TGA）测出。

现金成本和现金流也可以很容易地由以上数据结合日常报道的氧化铝厂运营和成本数据计算出来。计算的结果参见下表，相关辅助信息请参考本文末的附录。

回收率 (%)	95.0	94.4	94.0	93.0	92.6	92.0	91	90
现金成本 - 美元/吨	167.73	167.39	167.27	167.41	167.57	167.85	168.49	169.19
现金流 - 百万美元/年	355	362	365	370	371	372	372	371

如上表所示，最低现金成本的运营条件对应于 94% 的回收率（溶出液 A/C 比为 0.731）。类似的是最高现金流的运营条件下，回收率为 91%（溶出液 A/C 比为 0.747）。从最低现金成本向最高现金流转变，典型的氧化铝厂的现金流增加了 $372 - 365 = 7$ ，即 700 万美元/年，而投资没有任何额外的增加。

4.3 现金流最大化小结

运营模式：铝土矿给料多，溶出液比高，回收率低

环境影响：铝土矿利用差（铝土矿系数），残渣量高（赤泥浆系数）

经济影响：氧化铝产量高，溶液产率高，投资利用好，现金流最大

现金流最大化是氧化铝厂的共同目标。每个工厂都应该知道其最大现金流条件，以及最优溶出液比如何随着市场状况发生变化。

下面一节提供了在最大现金流条件下，氧化铝厂的运营如何避免消极的环境影响的解决办法，同时还要进一步增加氧化铝厂的现金流。

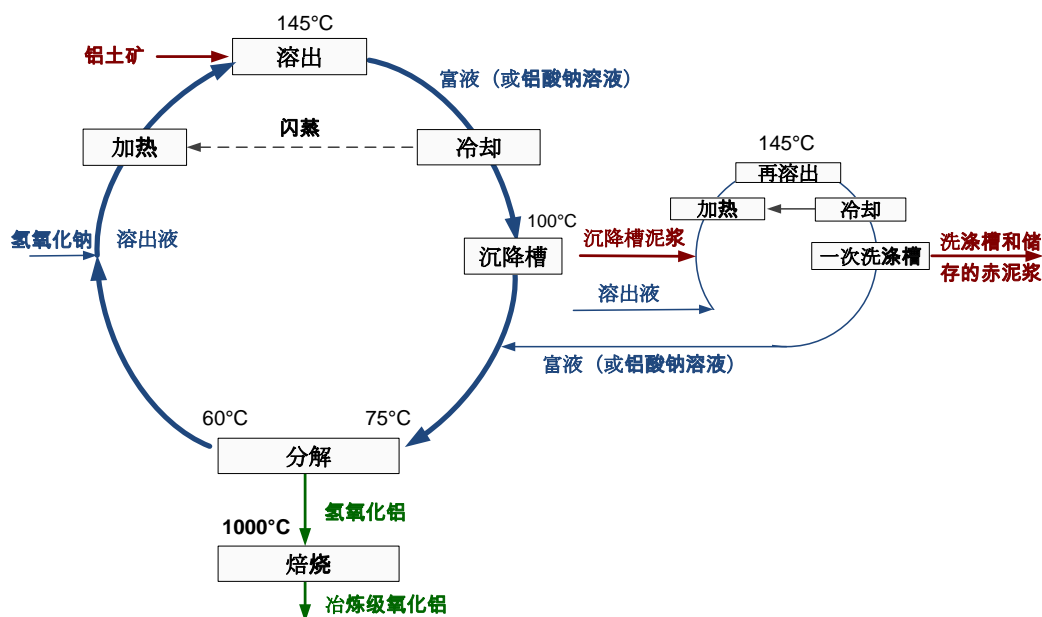
5 目标 4：现金流最大化和回收率均为最大化

以高溶出液比运营一家氧化铝厂也许能产生最高现金流，但不幸的是，其环境绩效方面却差强人意，比如铝土矿利用差（铝土矿因素），残渣量高（赤泥浆因素）。因高溶出液比导致提取率低和沉降槽、洗涤槽中的逆反应所引起的大量氧化铝损失，能够通过再溶出沉降的赤泥浆来回收，以下将详细说明。

5.1 再溶出

双溶出工艺普遍运用于三水铝石和一水软铝石混合的铝土矿，再溶出步骤需要高溶出温度 (180~240°C) 和高压，这就要求高成本支出。

与三水铝石矿的双溶出原理相同，通过沉降赤泥浆的再溶出，从铝土矿残渣中回收三水铝石。但过程更简单，成本更低，因为该工艺在低溶出温度 (145°C) 和低压设备的条件下就能进行。下图描绘了三水铝土矿双溶出的工艺过程，在右侧小圈中描绘了沉降赤泥浆的再溶出。再溶出的溶液流量只是主溶液的流量的一小部分。

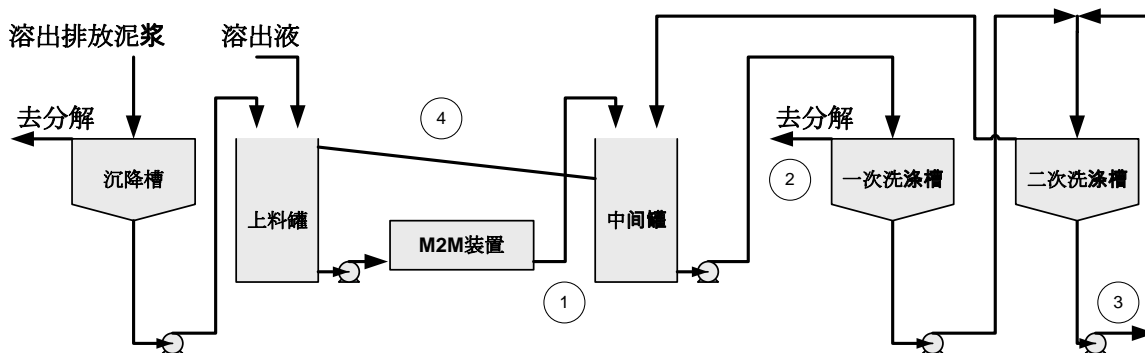


双溶出工艺解决了在 2.3 节中提到的在提取和产量之间折衷的溶出难题。

在现有的第一个主溶出流程中，为了使产量和现金流最大化，溶出时要求很高的溶出液比。随之而来的氧化铝在沉降泥浆中的高损失也不再是个问题，因为这些氧化铝可以在第二次溶出时回收。再溶出时，为使提取达到最大化，溶出液比相应也比较低。再溶出时回收的氧化铝进一步增加了产量和现金流,同时也减少了需要洗涤和储存的赤泥浆的量。

三水铝石矿的双溶出使提取和产量都达到了最高，氧化铝厂的经济和环境绩效均受益。

实践中，应用双溶出工艺技术需要在沉降槽底流和第一个洗涤槽之间的管道系统安装一个或多个平行的所谓的 M2M 装置。参见以下示意图。

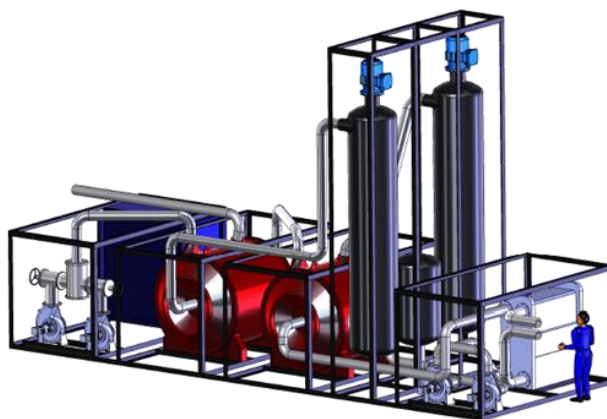


带圈的编号指以下情况:

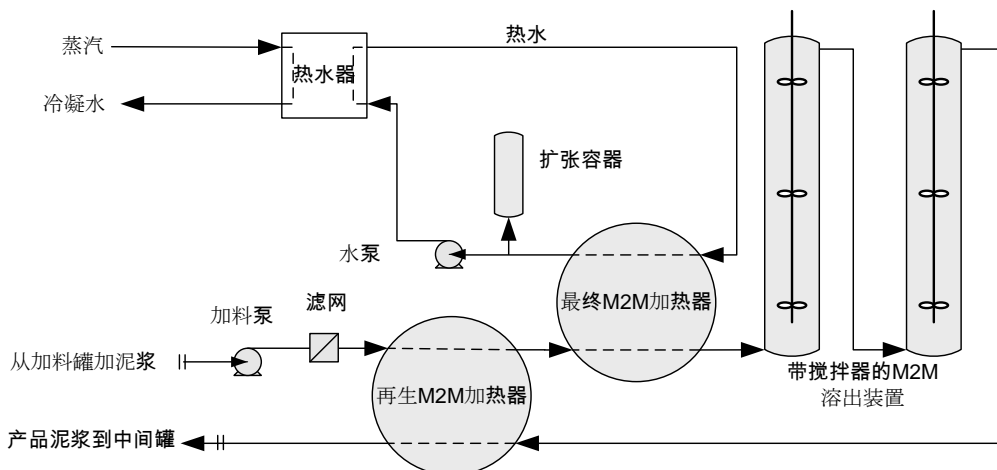
- 1 额外的提取液降低了 M2M 装置中的溶出液比，从而能提取沉降槽赤泥浆中所有能够回收的氧化铝。所以 M2M 装置中排放出的固体中实质上没有包含任何剩余的能提取的氧化铝；
- 2 第一个洗涤槽溢流包括溶解在 M2M 装置中的氧化铝。应该引起注意的是由于溶液 A/C 比降低以及第一个洗涤槽温度升高，洗涤槽中的逆反应会减少；
- 3 随着全部有效氧化铝被提取出来，需要储存的残渣会相应减少；
- 4 设置溢流线可以保证主流程的持续运转。有了溢流线，安装 M2M 装置就不会影响氧化铝厂的正常生产。

5.2 M2M 装置

每套 M2M 装置重量约 60 吨，能够处理大约年产 50 万吨的氧化铝产生的沉降槽赤泥浆。由于它使用了螺旋板式换热器而不是闪蒸罐加热器，相对于常规的溶出设备，M2M 装置的体积较小。



以下示意图简要说明了 M2M 装置各主要部件的功能：

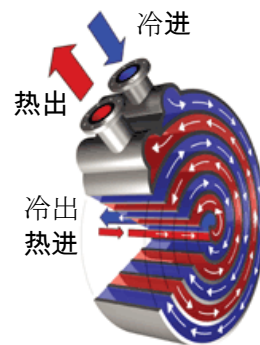


M2M 装置的进料是在再生螺旋板式热交换器中用热泥浆预热的，然后在最后一个螺旋板式换热器用热水加热到溶出温度；

两个串联的带搅拌器的溶出装置保证有足够停留时间从泥浆中提取有效氧化铝。进料已经在主溶出时脱硅，所以没有必要为了脱硅而停留一段时间。而脱硅产品的结垢也不再是问题。滤网可以阻挡了任何大块物体进入 M2M 装置。

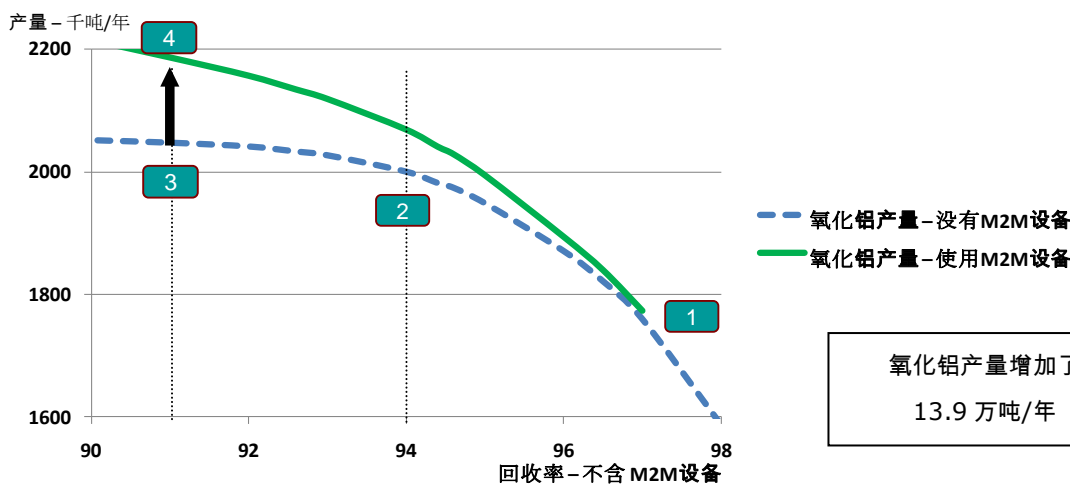
储存赤泥浆的减少使得进来的清洗用水较少，进而对蒸发的要求降低，也就有条件使用螺旋板式换热器。它比闪蒸罐热交换系统效率更高，因为热转换是持续的而不是阶段性的，也不存在沸点升高。

Alfa Laval 公司设计的螺旋板式换热器具有自我清洁，平衡污染和腐蚀的功能。

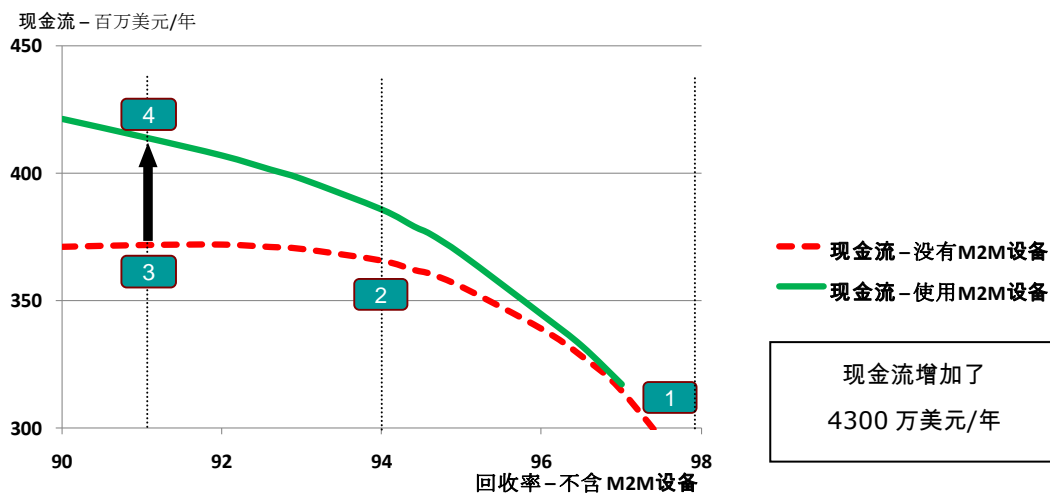


5.3 安装 M2M 装置后的回收率、产量与现金流

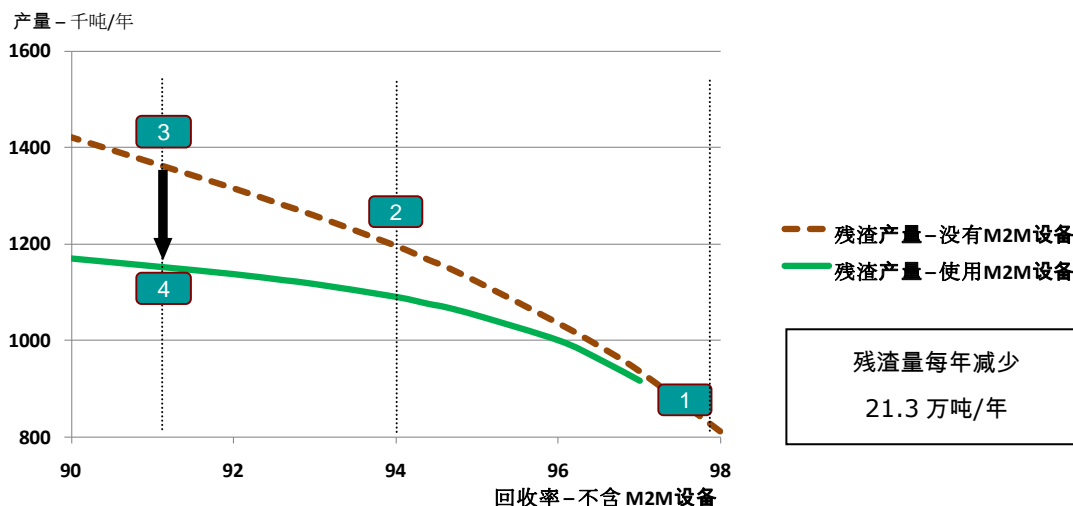
一次溶出时回收率与产量或现金流之间的关系已经在 2.3 节和 4.1 节用图示说明。下图是以年产量为 200 万吨的氧化铝厂为例，说明了安装 M2M 装置后给氧化铝产量 (冶炼级氧化铝)、现金流、赤泥浆储存量所带来的好处。图中 1 到 4 指的是四种运营模式。箭头表示改进处。



应该注意的是：表示回收率的横轴所显示的比例是指氧化铝厂一次溶出模式下的回收率。如果是采取双溶出工艺，也就是安装了目标 4 所需要的 M2M 装置，最后总回收率能高达约 97%，这主要归功于再溶出时回收了损失的氧化铝。



既然 M2M 装置生产氧化铝不需要增加铝土矿、苛性碱和残渣储存容量，额外增加氧化铝所需的现金成本很低，这对改善现金流也十分有利



总之，安装 M2M 装置能够在投资成本较低的再溶出装置下实现高溶出量。再溶出流程与工厂溶出液流动并列进行，同时通过向再溶出设备装入可提取氧化铝含量相对较高的沉降槽底流，降低了现金成本，这是因为主溶出流程是以最大 A/C 比操作的，同时，由于在再溶出降低溶出液比，减少了铝土矿残渣量的排放。

5.4 环保绩效

以下表格列出了本篇论文中所提到的与运营模式 2、3、4 相关的环境绩效指数。

	模式 2	模式 3	模式 4	
氧化铝厂回收率	94.0	91.0	97.2	%
残渣系数	0.60	0.67	0.53	吨/吨冶炼级氧化铝
铝土矿系数	2.13	2.20	2.06	吨/吨冶炼级氧化铝

应该提到的是模式 4 下的对于环境的其他有利因素。由于残渣系数低，每吨冶炼级氧化铝产生净水份输出减少，补给水添加需求量低。从模式 2 到模式 3，能量系数有所改进，在安装 M2M 装置后（模式 4），能量系数保留在模式 3 的水平。

5.5 现金流最大化和回收率最大化小结

运营模式：采用双溶出工艺，在第一次溶出时铝土矿给料多，溶出液比高，回收率低（同目标 3）；再溶出时溶出液比低，回收率高（同目标 1）；

环境影响：总回收率高，铝土矿利用最好（铝土矿系数），残渣量最低（赤泥浆系数）；

经济影响：第一次溶出时，氧化铝产量高，再溶出时氧化铝产量增加。因为产量高，加上再溶出时生产的额外氧化铝成本低，使得溶液产出高，投资利用最好，现金流最大。

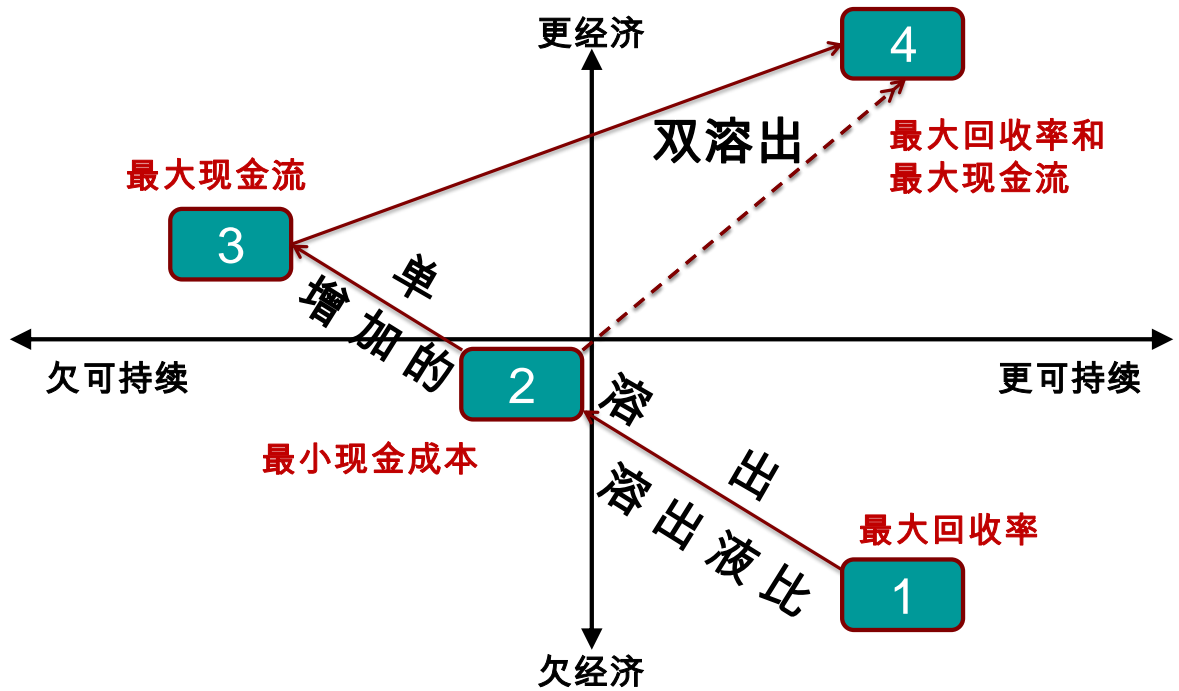
由于这种运营模式使生产每吨氧化铝所需开采的铝土矿和需要储存的残渣量最少，同时收获了额外的产量和较好现金流，该模式可以认为是国际最佳环境标准。

6 结论

回收率高的氧化铝厂不会产生最大现金流。将运营目标从氧化铝回收率最大化改变为现金成本最小化，再到现金流最大化，都意味着氧化铝回收率的降低，并带来相关的环境影响，例如：

- 沉降槽和洗涤槽的氧化铝损失增加
- 铝土矿利用率减少
- 赤泥浆流量增加

通过安装 M2M 装置，用再溶出回收沉降泥浆中可提取的氧化铝，溶出液比低，且现金流最大，回收率最大。以下图中，横轴是指其环境影响（可持续发展能力），纵轴代表经济影响，四个目标及四种运营模式的相应位置得以明确显示。



安装 M2M 装置使氧化铝厂不需要在环境（高回收率）和高现金流（经济上）折衷，两者达到了最好的融合，氧化铝厂的运营也更持久、更经济。

如果因为氧化铝厂受到主溶出之外的特定约束，而使得通过增加溶液比实现主溶出时达到最大现金流的方式不可行时，上图的虚线提供了另外一种途径。洗涤槽中逆反应损失过高、控制过滤机内氢氧化铝结垢就是这种约束的例子。

这种情况下，通过安装 M2M 装置是有可能到达拥有最大回收率和最大现金流的第 4 点的，而氧化铝厂仍然以最小现金成本或接近最小现金成本经营。M2M 再溶出装置安装好后，将主溶出调整为第三种模式，主溶出的溶出液比能够增加，对洗涤槽氧化铝和储存泥浆中可提取氧化铝的损失不会产生负面影响。

M2M 装置消除了以上事例中提到的问题，因为它们减少了洗涤槽的逆反应损失，使从 M2M 装置溶出时富液流的 A/C 比调整为整个溶出液流中经过过滤机去分解时可以接受的 A/C 比。

附件：最小现金成本和最大现金流计算

阐释最小现金成本和最大现金流的运营条件是以实验室的断点测试开始的，紧接着是车间试验。实验室断点测试确定了最大 A/C 比，在达到最大 A/C 比之后，氧化铝产量和回收率迅速下降。在试验中，溶出液比少量增加，各步骤之间有足够多的时间使操作改变带来的效果能达到最后一个洗涤槽，并使溶出器达到一种新的稳定操作状态。试验中，氧化铝厂是以最大的溶液流量运营。

作为例子，以下表格详细记录了每一步的溶出液 A/C 比及相关氧化铝产量和回收率。

溶出液 A/C 比	-	0.720	0.727	0.731	0.738	0.740	0.743	0.746	0.747
冶炼级氧化铝产量	kt/y	1949	1982	2000	2027	2033	2041	2047	2051
回收率	%	95.0	94.4	94.0	93.0	92.6	92.0	91.0	90.0

每一步的回收率都是由熟知的固定氧化铝损失（参见 2.1）及储存赤泥浆中三水铝石形态的氧化铝含量的回收率计算出的。三水铝石形态的氧化铝含量能够很容易地由差热式扫描量热仪(DSC/TGA)测出。

现金成本和现金流也可以很容易地由以上数据结合日常报道的铝厂运营和成本数据计算出来，这些信息参见以下表格：

主要设备--没有M2M设备										
过程数据 - 不取决于回收率										
煤消耗量 - 锅炉	吨/吨冶炼级氧化铝		0.117							
油消耗量- 煅烧炉	吨/吨冶炼级氧化铝		0.070							
电力消耗	度/吨冶炼级氧化铝		183							
铝土矿平均可获得的氧化铝（基于干品）	% (按块)		50.00							
铝土矿中的二氧化硅（基于干品）	% (按块)		3.65							
冶炼级氧化铝中的杂质	%		1.2							
脱硅消耗的苛性碱	吨苛性碱 / 吨二氧化硅		0.89							
其它用途消耗的苛性碱	吨苛性碱/ 吨冶炼级氧化铝		0.015							
平均氧化铝损失, 不含在储存泥浆中的三水铝石	千克/吨冶炼级氧化铝		26							
价格										
煤价	美元/吨煤		100							
油价	美元/吨油		400							
电价	美元/度电		0.040							
冶炼级氧化铝价格	美元/吨冶炼级氧化铝		350.00							
苛性碱价格	美元/吨苛性碱		315.00							
铝土矿价格	美元/吨铝土矿		20.00							
残渣储存价格	美元/吨残渣		2.00							
成本										
煤	美元/吨冶炼级氧化铝		11.70							
油	美元/吨冶炼级氧化铝		28.00							
电费	美元/吨冶炼级氧化铝		7.32							
能源	美元/吨冶炼级氧化铝		47.02							
其它处理和维修用材料, 铁路和港口	美元/吨冶炼级氧化铝		5.00							
固定成本	百万美元/年		90.00							
工厂试验数据										
溶液苛性比值	-		0.720	0.727	0.731	0.738	0.740	0.743	0.746	0.747
氧化铝产量	千吨/年		1949	1982	2000	2027	2033	2041	2047	2051
回收率 - 无M2M设备	%		95.0	94.4	94.0	93.0	92.6	92.0	91.0	90.0
过程数据 - 取决于回收率. 主厂										
铝土矿系数	吨铝土矿/吨冶炼级氧化铝		2.11	2.12	2.13	2.15	2.16	2.17	2.20	2.22
二氧化硅消耗	吨二氧化硅/吨冶炼级氧化铝		0.077	0.077	0.078	0.078	0.079	0.079	0.080	0.081
脱硅消耗用苛性碱	吨苛性碱/吨冶炼级氧化铝		0.068	0.069	0.069	0.070	0.070	0.071	0.071	0.072
残渣系数	吨残渣/吨冶炼级氧化铝		0.58	0.59	0.60	0.62	0.63	0.64	0.67	0.69
铝土矿消耗	千吨/年		4102	4198	4255	4359	4391	4437	4499	4559
残渣产品	千吨/年		1121	1166	1195	1258	1280	1314	1367	1420
现金成本										
非脱硅用苛性碱	美元/ 吨冶炼级氧化铝		4.73							
能源	美元/ 吨冶炼级氧化铝		47.02							
其它处理和维修用材料, 铁路和港口	美元/ 吨冶炼级氧化铝		5.00							
小计 - 固定可变成本	美元/ 吨冶炼级氧化铝		56.75							
铝土矿	美元/ 吨冶炼级氧化铝		42.11	42.37	42.55	43.01	43.20	43.48	43.96	44.44
脱硅消耗用苛性碱	美元/ 吨冶炼级氧化铝		21.54	21.68	21.77	22.01	22.10	22.25	22.49	22.74
残渣处理成本	美元/ 吨冶炼级氧化铝		1.15	1.18	1.20	1.24	1.26	1.29	1.34	1.38
小计 - 回收可变成本	美元/ 吨冶炼级氧化铝		64.80	65.23	65.52	66.26	66.56	67.01	67.78	68.57
固定成本 - 依赖于生产率	美元/ 吨冶炼级氧化铝		46.19	45.42	45.00	44.41	44.27	44.09	43.96	43.87
现金成本	美元/ 吨冶炼级氧化铝		167.73	167.39	167.27	167.41	167.57	167.85	168.49	169.19
现金流										
铝厂现金支出	百万美元/年		327	332	335	339	341	343	345	347
铝厂现金收入	百万美元/年		682	694	700	709	712	714	717	718
现金流	百万美元/年		355	362	365	370	371	372	372	371