

活性污泥投加粉末活性炭的基础特性研究

朱 慧 张林弟 曹翰虎 肖志成

(上海石化总厂环保研究所,上海 200540)

摘要 在活性污泥(AS)中投加粉末活性炭(PAC)的试验结果表明, PAC 不吸附氨氮,对 COD 的吸附容量也仅为 0.0148—0.2305g COD/g PAC, 而 [AS + PAC] 系统的反应速率常数 K 分别是 [PAC] 和 [AS] 系统的 2.33 倍和 1.40 倍, COD 绝对去除量大于 [PAC] 和 [AS] 二者系统之和,并能明显地提高生物处理系统的有机物去除率。同时, 1mg PAC 还能吸附 0.5—0.75mg DO; 当活性污泥的 PAC 量占 1/3, SVI 可从 389ml/g 降至 200ml/g 以下;含 1.5g/L PAC 的污泥在投加碱式氯化铝后,污泥比阻仅为原比阻的 25%, 相应过滤产率提高 1 倍。

关键词 活性污泥,粉末活性炭,生物处理系统,有机物去除率。

粉末活性炭处理(PACT)工艺是一种将粉末活性炭直接投入活性污泥曝气池的废水处理新工艺。^[1] 低剂量粉末活性炭处理工艺(Low Dose-Powdered Activated Carbon Treatment Process, 简称 LD-PACT), 是沿用 PACT 的基本原理,按我国国情及现实条件,由我所研究开发的低剂量投加和高浓度积累 PAC 的软件技术,并有 ZJG 型粉料自动投加机等硬件设备配套的废水处理专用技术^[2]。在研究过程中,为了评价 PAC 对有机物、溶解氧(DO)、氨氮的物理吸附性能,以及考察活性污泥中投加 PAC 对于生物降解、污泥沉降、污泥脱水等有关的基础特性方面的影响,作者进行了若干的试验。本文介绍了活性污泥投加 PAC 的有关基础特性试验,评述了该工艺所产生的多方面有益特性,为研究和实用技术的发展提供了依据。

一、PAC 吸附有机物试验

在对活性炭调查和筛选的基础上,选择几种对有机物有较好吸附性能的 PAC,对不同的废水进行吸附试验。试验结果经整理,获得吸附容量与平衡浓度之间关系的弗兰德利希(Freundlich)等温线方程式,见表 1。不同 PAC 的吸附容量均可根据吸附等温线方程式由不同的实验常数代入计算得出。

试验结果表明,不同的 PAC 对于同种废水或不同类型的废水,在吸附过程中所表现的吸附平衡规律是不相同的,即吸附等温线方程式中 K 和 n 不相同,其吸附容量差别有的较大。在实际废水处理中,最有效的方法是进行活性炭的定向筛选和吸附试验,以便选用较合适的品种。同时,试验结果还表明,当达到吸附平衡时单位 PAC 吸附的 COD 数量(即吸附容量)一般均较小,特别是在有较高的 COD 出水要求时尤为明显。如要求 COD = 200mg/L,各种 PAC 的吸附容量为 0.0148—0.2305g COD/g PAC。因而,若仅依赖 PAC 来去除大量 COD 负荷量,经济上显然不合理。然而 PAC 作为 COD 去除的辅助材料还是可行的。

二、PAC 吸附 DO 试验

在 250ml 的试剂瓶中注入近似于饱和的蒸馏水,定量投入不同浓度的 PAC,用 YSI-58 型溶解氧测定仪的探头插入瓶内,使瓶内呈密封状态下测定溶解氧,试验测定的结果见图 1。

从图 1 看出,试验初期的 DO 浓度有明显降低,随后趋于平缓,随着 PAC 投加量的增加,对 DO 的吸附速率增大,相应吸附的 DO 绝对量也有所增加。对于单位 PAC 吸附的 DO 绝

表 1 PAC 吸附有机物试验的等温线方程

名 称	废 水 类 别 PAC 编号	水 质 净 化 厂				化 工 一 厂			实 验 厂	
		总 进 水				浮 选 出 水			坯 布 染 色 废 水	
		1#	2#	3#	24#	7#	22#	25#	7#	23#
等 温 线 方 程	数据数	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	相关系数 r	0.8473	0.7685	0.8866	0.9792	0.8568	0.9687	0.7449	0.9193	0.6858
	Freundlich 等温线方程	$\frac{X}{M} = Kc^{1/n}$ 式中, $\frac{X}{M}$ 单位重量 PAC 的吸附容量(g/g), c 为 PAC 吸附后废水中的平衡浓度 (g/L). K, n 实验常数.								
	K	1.33	3.87	28.33	211.28	3 667.67	12 235.39	21 943.18	0.62	0.53
	$\frac{1}{n}$	1.83	2.73	4.56	4.77	6.09	6.76	7.32	2.32	2.02
	COD 实验范围	130—600mg/L				160—450mg/L			600—1 300mg/L	

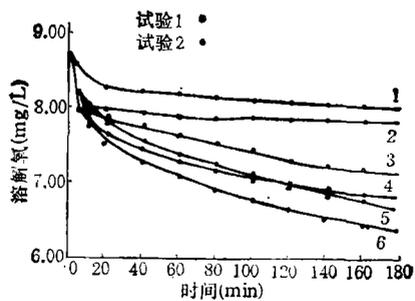


图 1 PAC 对 DO 的吸附曲线
 1.2. PAC = 1(g/L) 3.4. PAC = 2(g/L)
 5.6. PAC = 3(g/L)

对量(以 mg DO/mg PAC 计)而言,它随着时间的延长而增加,若以 1、2 和 3 小时计,该均值范围分别为 0.46—0.66、0.59—0.80 和 0.67—0.84, 其粗略的估计值可分别以 0.5、0.7 和 0.75mg DO/mg PAC 计。当 PAC 浓度在 2g/L 以下时,单位 PAC 吸附的 DO 绝对量在同一时间内基本维持常数,而 PAC 浓度超过 2g/L,则该值相对会有减小,但从曲线形态看,似

乎吸附作用仍在继续进行。

显然, PAC 吸附溶解氧(DO)有利于生物处理系统。PAC 的投入和存在,使其有可能从扩散的空气和废水中吸附氧,增强氧的转移;而 PAC 一旦吸附了氧,因其表面有水饱和,就有可能以溶解氧形式存在,因而不仅微生物接近 PAC 表面时可以利用,而且介质内的 DO 由微生物消耗时,经 PAC 的解吸作用释放氧,从而充当一个氧贮存器的作用,其贮存容量(以 1g/L 的 PAC 浓度计)每立方米约为 500—750mg 左右。当然,对于解释 PAC 吸附 DO 的机理及其它方面的综合影响,还有待于进一步研究。

三、PAC 吸附 NH₃-N 试验

采用与 PAC 吸附有机物相同的试验方法,进行了 PAC 对 NH₃-N 的吸附试验(见表 2)。

试验结果表明,各种 PAC 对配制的标准溶液和各种废水中的 NH₃-N, 其吸附率为 -1.16--+5.00%, 而本试验中采用的 NH₃-N

表 2 PAC 吸附 NH₃-N 试验结果

PAC 编号	类 别 PAC 浓度 (g/L)	配制的标准溶液		第九化纤厂生化处理出水		水质净化厂总进水	
		原始 NH ₃ -N = 43.1mg/L		原始 NH ₃ -N = 28.25mg/L		原始 NH ₃ -N = 26.0mg/L	
		吸附出水 (mg/L)	吸 附 率 (%)	吸附出水 (mg/L)	吸 附 率 (%)	吸附出水 (mg/L)	吸 附 率 (%)
1#	2.0	42.8	0.70	0	0	25.3	2.69
2#	2.0	43.3	-0.46	28.23	0.07	24.7	5.00
3#	2.0	43.1	0	27.06	4.21	25.6	1.54
7#	2.0	43.1	0	27.23	3.61	25.7	1.15
21#	2.0	43.6	-1.16	27.53	2.55	25.2	3.08
22#	2.0	43.1	0	27.53	2.55	25.3	2.69
23#	2.0	42.2	2.09	27.24	3.58	25.3	2.69
24#	2.0	43.1	0	27.03	4.32	24.4	6.15
25#	2.0	42.5	1.39	27.38	3.08	25.1	3.46

测定方法是纳氏试剂光度法¹⁾,其方法本身单个实验室的相对标准偏差不超过 9.5%,加标回收率范围为 95—104%。因此,可以认为 PAC 对于 NH₃-N 并没有真正的吸附作用。在投加 PAC 的活性污泥系统中,若 NH₃-N 有所降低,则应是工艺等方面的作用,而并非是由 PAC 吸附的直接结果。

四、PAC 吸附及有机物去除试验

为了实际地了解 PAC 吸附-生物处理系统中有机物的去除状况,探索 PAC 增强生物系统降解性能等有关理论的可信性,研究中进行了 PAC 吸附及有机物去除试验。试验采用三个平行的间歇模型,即在三个相同模型中分别投

表 3 PAC 吸附及有机物去除试验*

类 型	时间 (min)	COD (mg/L)										
		0	5	10	30	60	120	180	240	360	480	600
[PAC]		223.7	210.5	217.5	214.9	205.3	186.0	181.6	166.7	122.8	113.2	98.2
[AS]		197.4	197.4	165.8	150.0	122.8	104.4	88.6	76.3	62.3	51.8	51.8
[PAC + AS]		197.4	164.9	124.6	103.5	78.9	59.6	51.8	42.1	28.9	26.3	24.6

* 模型中 PAC 和 AS 浓度均为 1g/L。

加粉末活性炭 [PAC]、活性污泥 [AS]、粉末活性炭和活性污泥 [PAC + AS], 试验中严格控制曝气、取样等各方面的条件相同。试验结果见表 3, 经计算机归纳整理的反应动力学方程式见表 4。

试验结果表明, 对于同一废水, [PAC + AS] 系统的出水水质明显优于 [PAC] 和 [AS] 单独系统, 以反应时间 10 小时为例, [PAC]、[AS]、[PAC + AS] 各系统的出水 COD_c, 分别为 98.2mg/L、51.8mg/L 和 24.6mg/L。从反应动力学角度而言, 三者的反应动力学常数

K , 分别为 0.0006、0.0001 和 0.0014 (以 10 为底), [PAC + AS] 系统的 K 值分别是 [PAC] 和 [AS] 系统的 2.33 和 1.40 倍。显然, [PAC + AS] 系统优于单独的 [PAC] 和 [AS] 系统, 即每当各单独系统加入另一种介质, 均可对有机物的去除产生有利影响。也就是说, 在同等条件下, 去除相同的 COD 量, [PAC + AS] 系统比各单独系统所需的反应时间短, 或在相同的反应时间内所去除的 COD 较多。特别是试

1) 国家环保局, 水和废水监测分析方法(第三版), 1989。

表 4 PAC 吸附-生物降解反应动力学

成 分		[PAC]	[AS]	[PAC + AS]
反 应 动 力 学 方 程 式	数据数 n	11	11	11
	相关系数	-0.9907	-0.9437	-0.9187
	数学表达式	反应动力学方程式为一级反应 $r = K \cdot c$ 速率规律的表达式为 $\ln\left(\frac{c_0}{c}\right) = Kt$ 或 $\log\left(\frac{c_0}{c}\right) = Kt$ 式中: c_0 原始的 COD 浓度 (mg/L) K 反应速率常数 (1/min) c 某一时刻 t 时 COD 浓度 (mg/L) t 反应时间 (min)		
	K	以 e 为底	0.0014	0.0023
	以 10 为底	6.0006	0.0010	0.0014

验的反应时间在 3 小时以内, [PAC + AS] 系统中的 COD 绝对去除量明显地大于 [PAC] 和 [AS] 系统两者 COD 绝对去除量之和。证明 PAC 能明显提高生物处理系统的有机物去除率。当然,随着反应时间的延长, [PAC+AS] 系统的 COD 绝对去除量将逐步地接近和小于 [PAC] 和 [AS] 两单独系统之和, 但此时的 [PAC + AS] 系统中的 COD 浓度已相当低, 如本试验中反应时间 3 小时的 COD 仅为 51.8mg/L。 但不管怎样, 试验进行 10 小时, [PAC + AS] 系统的 COD 绝对去除量仍分别为 [PAC] 和 [AS] 单独系统的 1.38 倍和 1.19 倍。

五、PAC 活性污泥沉降试验

在 [AS] 系统中, 活性污泥的沉降性能直接影响泥水分离效果, 也涉及污泥的回流和平衡, 是该系统控制中的一个关键。 为了考察 PAC 对活性污泥沉降性能的影响, 进行了 PAC-活

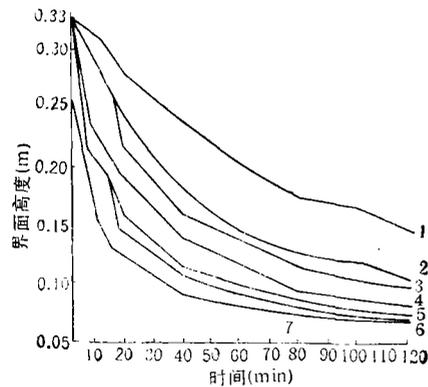


图 2 [AS] + [PAC] 污泥沉降曲线
图中 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 为样品号

性污泥沉降试验, 结果见图 2 及表 5。

试验结果表明, 没有投加 PAC 的活性污泥混合液, 污泥体积指数 SVI 高达 389ml/g, 沉降性能很差, 而加入 PAC 的混合液随着其投加量的增加, 相应的 SVI 降低, 沉降速度逐步提高。当 PAC 浓度与混合液浓度的比例为 1:5 时, 沉降性能的改善即可察觉, SVI 可降

表 5 各种样品的组成及 SVI 值

样品号	1	2	3	4	5	6	7
MLSS (g/L)	1.954						
PAC (g/L)	0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	6.0
SV ₃₀ (ml/L)	760	640	560	500	420	390	320
SVI (ml/g)	389	261	190	127	85	66	40

至 261ml/g; 当其比例为 1:3 时, 沉降情况改善十分显著, SVI 可降至 200ml/g 以下。如进一步提高其比例, 则 SVI 可降至更低。通常典型的活性污泥固体密度为 1.03g/ml, 若假设 PAC 颗粒的干密度是 0.7g/ml, 孔隙率为 0.7, 当 PAC 颗粒完全被水充满时, 则 PAC 的密度变为 1.19g/ml, 如果吸附了金属铁或无机盐等高密度的固体, PAC 的密度有可能进一步增加。因而, 投加 PAC 能改善其沉降性能的原

因, 也许就是 PAC 颗粒被液体介质饱和后其密度增加所致。

六、PAC-活性污泥脱水性能试验

为了考察 PAC 投入活性污泥后脱水性能的改善状况, 进行了污泥的比阻试验, 比较了污泥中 PAC 数量和混凝剂投加量对污泥比阻和过滤产率的影响。试验结果见表 6 和表 7。

试验结果表明, 在活性污泥中投加一定数

表 6 不同 PAC 量的比阻及过滤产率变化

项 目		方 法		不 投 加 混 凝 剂						投 加 混 凝 剂					
				13.2						13.2					
污泥浓度 (g/L)		13.2						13.2							
PAC 浓度 (g/L)		0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5		
总固体浓度 (g/L)		13.2	13.7	14.2	14.7	15.2	15.7	13.2	13.7	14.2	14.7	15.2	15.7		
比阻	$\times 10^9 (S^2/g)$	4.02	3.52	3.31	2.84	3.88	3.06	3.01	1.36	1.33	0.78	2.28	1.22		
	$\times 10^{12} (m/kg)$	39.5	34.6	32.4	27.9	38.1	29.9	29.5	13.4	13.1	7.47	22.4	11.9		
过滤产率 (kg/m ² ·h)		1.24	1.34	1.42	1.56	1.36	1.55	1.47	2.14	2.23	2.95	1.75	2.44		

表 7 相同 PAC 量不同混凝剂投量比阻变化

项 目		成 份		PACT			
		AS	$c_0 = 13.2g/L$	PAC 量 1g/L		$c_0 = 14.2g/L$	
加药量(体积比)		6‰		1‰	2‰	4‰	6‰
比阻	$\times 10^9 S^2/g$	3.01		2.36	1.94	0.996	1.33
	$\times 10^{12} m/kg$	29.5		23.2	19.0	9.77	13.1
过滤产率 (kg/m ² ·h)		1.47		1.67	1.83	2.52	2.23

量的 PAC, 总的来说其污泥比阻降低, 污泥过滤产率提高, 对污泥的脱水性能有很大改善。在 PAC 量为 1.5g/L 时脱水性能为最佳, 比阻仅为原污泥比阻的 70%, 相应的过滤产率为原来的 1.26 倍。若同时投加混凝剂, 其污泥脱水性能的改善尤为显著, 其污泥比阻仅为原比阻的 25%, 相应的过滤产率为原来的 2 倍。这说明, 只要投加 PAC, 不管投加多少, 也不管是否投加混凝剂, 均能改善污泥的脱水性能。从表 7 还可以看出, 当污泥中 PAC 量为 1.0g/L 和

投加混凝剂(工业用碱式氯化铝, 含固体量 8—10%) 分别为 1‰、2‰、4‰ 和 6‰ (体积比) 时, 与活性污泥仅投加混凝剂量 6‰ (体积比) 比较, PAC-活性污泥的比阻分别降低 22%、36%、67% 和 56%, 过滤产率分别提高 14%、25%、71% 和 52%。也就是说, 对 PAC-活性污泥, 即使投加混凝剂量减少 5/6, 比阻仍低于投加了混凝剂的无 PAC 活性污泥, 过滤产量仍可以有所提高。因而, 投加 PAC 可节省混凝剂的投加量, 降低污泥处理成本, 在经济上将为人们所

接受。

七、结 束 语

试验表明,在活性污泥法废水生物处理过程中,投加粉末活性炭(PAC)有利于COD 的去除,有利于溶解氧的调节和利用。同时,提高了有机物去除效果,改善了活性污泥的沉降性能和脱水性能。在投加 PAC 的活性污泥系统

中, NH₃-N 有所降低,这并非是 PAC 直接吸附的结果,而仍应归因于工艺等方面的作用。这些无疑都为 PACT 工艺的研究和向实用技术方面的开拓,提供了若干的依据和基础。

参 考 文 献

- 1 肖志成等. 上海环境科学. 1988,7(11): 38
- 2 肖志成,朱慧. 化工给排水设计. 1991,79(1): 1

印尼虫害综合防治非常见效

世界第三大水稻生产国——印度尼西亚的虫害综合防治,看来奏效很大。1986年在联合国粮农组织(FAO)和印尼政府的赞助下开始这项规划以来,政府已节省了1.2亿美元对农民的杀虫剂补贴,杀虫剂使用量减少了一半。1986年以前,农场和水稻田所采用的方法是,喷撒大量杀虫剂,以彻底毒杀害虫。特定毒

杀对象是以水稻作物为食的褐光蝉。这种害虫的天敌被毒杀,而害虫本身却活得很好。后来,在FAO的帮助下,印尼政府告诉农民怎样区分益虫和害虫,以及如何确定益虫比化学品更好地抑制害虫。自1986年以来,印尼已禁止使用57种杀虫剂。

小康译自 *ES&T*, 1992, 26(7): 1267

美国环保局宣布限制饮用水污染的新标准

今年5月19日,美国环保局宣布了限制饮用水中23种化学污染物的新标准。在所列出的9种杀虫剂、9种人造有机化学品和5种无机化学品中,包括2,3,7,8-TCDD、锑、铍和氰化物。环保局局长William R-eilly说,当1993年标准生效时,标准数目将增至84种。他指出,这些标准“具有一种预防作用,因为这23种污染物大多很少出现在饮用水中。”多达8万个公

共饮用水系统将必须达到这些新标准和监测这些污染物。他承认,水厂尤其是为小社团(少于500人)服务的水厂,将面临沉重的财政负担来达到这些标准。环保局已确定几种减轻经济影响的方法,例如,逐步实施监测规定和研制低成本的整套处理技术。这些标准是根据《安全饮用水法》而规定的。

小康译自 *ES&T*, 1992, 26(7): 1267

干电池中停止使用聚氯乙烯

一向用PVC作干电池的包装材料,以及干电池绝缘体和防止干电池内流体外漏的管体,然而废干电池焚烧时产生氯气,引起酸雨。

PVC具有良好的防水和绝缘性能。覆盖在干电池的锌膜(阴极材料)上,作为防止流体外泄的管体,以及阳极帽和外层铁壳之间的环形绝缘体。

目前正在研制开发的替代塑料是聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)和聚苯乙烯、聚丙烯、PET电阻性好,作

为管体材料模制简便,聚苯乙烯和聚丙烯用于生产绝缘环。这些塑料是新的干电池材料,但成本比PVC略高。

干电池包装有发泡型和紧缩型。发泡型是将PVC薄膜模制成干电池的形状,粘在一条薄瓦楞纸板上,而紧缩型包装是用PVC薄膜将几只干电池包捆在一起。

钱玲华译自 *New Technology Japan*. 1991, 19(7): 42

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

region, loess plateau, Shanxi province, that only the content of Se, one of the nine essential elements detected by X-ray in the children's hair shows a significant negative correlation with the percentage of incidence of the disease among neighbouring villages. The average Se content in human hair of disease point is lower than that of the people living in disease free areas at home and abroad. through the study on different types of soil and water in the environment of various topography, the cause for the distribution of light, medium and severe points of incidence and the low Se level in human body were explained. All of the results mentioned above provide a new scientific basis for the hypothesis that the incidence of K. B. D is related to the low level of Se resulted from the low Se environment through food chain.

Key words: micro-environment, micro-topography, food-chain, selenium, Kaschin-Beck disease.

Study on the Fundamental Characteristics of Activated Sludge fortified with Powdered Activated Carbon. Zhu Hui, Zhang Lindi et al. (Environmental Protection Reseach Institute, Shanghai Petrochemical Complex 200540): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(6), 1992, pp.23—28

The results of experiments on the fundamental characteristics of activated sludge (AS) fortified with powdered activated carbon (PAC) are presented. PAC does not adsorb ammonia-nitrogen and COD adsorptive capacity of PAC is only 0.0148—0.2305g COD/gPAC. However the reaction rate coefficient K of AS-PAC system is 2.33 times as great as that of PAC and 1.4 times as great as that of AS. respectively. The absolute amount of COD removed in AS-PAC is more than the sum of that in AS and PAC, so the removal rate of organics in biological treatment system is improved remarkably. In addition, 1mg PAC and absorb 0.5—0.75mg dissolved oxygen. When the ratio between PAC concentration and AS concentration is 1 to 2, sludge volume index (SVI) can be reduced from 389ml/g for AS to less than 200ml/g. After being coagulated with alkali aluminum chloride the sludge containing 1.5g/L

PAC shows only 25% specific resistance and a doubled filtration yield as compared with sludge without PAC. Various advantages brought by the addition of PAC in AS provide the basis for the development of treatment process and its practical application.

Key words: activated sludge, powdered activated carbon, COD removal, biological treatment.

A Study on Mathematical Modeling for Biological Rotating Contactor. Liu Changsong, Zhou Chunsheng (Jilin Architectural and Civil Engineering Institute Chang Chun 130021): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(6), 1992, pp 29—33 Based on material balance and Monod's relation, an expression, $A/Q(L_{n-1} - L_n) = 1/p + k_i/pL_n$, is derived to actually represent the mathematical model and the related parameters for biological rotating contactor(BR-C). Kinetic parameters, $p, k_i, Y, \mu_{max}, X_f$, etc were decided by the experimental data of treatment of biological product wastewater using four stage BRC. Moreover, the derived expression and parameters are evaluated in this paper. It is suggested that the expression, which reveals the theory and related factors of BRC process, and the parameters be used for the design of BRC for biological product or similar wastewater treatment.

Key words: biological rotating contactor (BRC), mathematical model, kinetic parameter.

Effect of Influent Strength on Granulation of Sludge in UASB Reactor. Zhu Jianrong, Xia Xiaohong et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(6), 1992, pp33—38 Using synthetic glucose wastewater, the effect of influent strength on granulation of sludge in UASB reactor was investigated. Results show that granulation could be well achieved in an operational period of 2 months or more, when UASB reactor was directly fed with high strength influent of 9000 mg/L COD. The granular sludge were 1.0—2.5mm (mostly 2.0mm) in diameter, SVI 16.03ml/g. The organic loadings of UASB reactor reached 30.8kg