

混凝沉淀及砂滤处理含汞废水试验报告

二机部第五设计院

一九八〇年二月

前 言

为改善汞废水对环境的污染，我院于七八年设计了二〇二厂含汞废水处理车间，处理流程是该厂三室(75)。科字第65号报告中提供的：废水→斜管沉降器→布袋过滤器→捕集塔→排放。我们也参考了国内外处理汞废水的有关资料，对国内汞废水处理动态也做了调研。设计中流程做了一些补充和修改：在斜管沉降器前投加硫化物和混凝剂以增加沉降效果；把布袋过滤器改为砂滤器。修改部分需经试验证明。

试验分两部分，一是烧杯试验，确定投加混凝剂和金属硫化物种类和投加量，给中型试验引路；二是中型试验，验证烧杯试验中推荐的投药种类和投加量的正确性。中型试验装置的设计参数同原设计。

废水来源于车间冲洗地面水，水环式真空泵的循环水及一部分断流器的洗涤水，废水含汞量为 $0.52\sim 7.2\text{mg/L}$ ，平均在 2.5mg/L 左右，其中元素汞占 $80\sim 85\%$ ，其余为离子汞； $\text{pH}=7\sim 9$ ；废水量每天 80m^3 左右；废水浊度一般在100度以下，废水 PH 值和汞含量是变化的。

烧杯试验，中型试验是在二〇二厂分析室和废水处理车间进行的试验始终得到了二〇二厂领导以及相关科室车间的大力支持和帮助，取得了这次试验的成果。以表感谢。

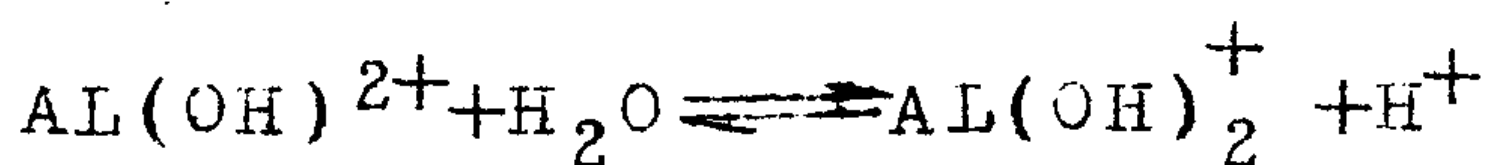
第一部分 烧杯实验

一、实验原理：

1. 投加化学凝聚剂在于凝聚剂投入所处理的水中发生水解形成细分散胶体颗粒，它们在平缓的搅拌下互相接触和粘附而逐渐形成大絮团，这种不溶的凝聚沉淀物将挟带水中的胶体一同沉淀。絮凝通过下述三种方式捕集胶体：(1)简单的机械挟挟；(2)胶体被吸附在絮絮上；(3)水中原有的带负电荷的胶体颗粒与带正电荷的胶体颗粒互相吸引、并合而中和。

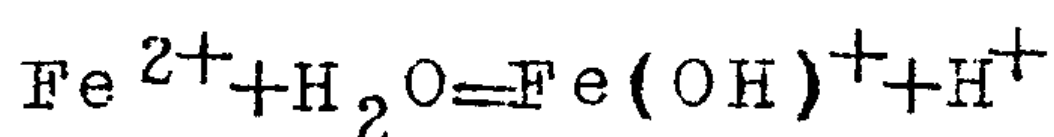
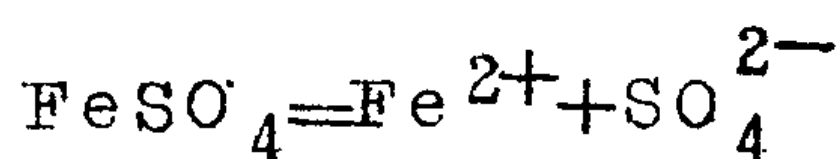
采用的化学凝聚剂有：明矾、硫酸铝、三氯化铁、硫酸亚铁以及高分子凝聚剂聚丙烯酰胺、聚合氯化铝等。明矾、硫酸铝是常用的铝凝聚剂。硫酸铝投入水中后离解成：

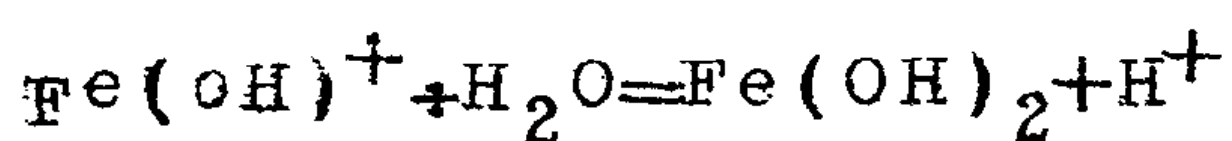
AL^{3+} 与 SO_4^{2-} ； AL^{3+} 的水解过程如下：



$AL(OH)_3$ 是带正电荷的胶体。

三氯化铁、硫酸亚铁是常用的铁凝聚剂。三氯化铁的水解过程与硫酸铝水解完全相同，最后生成带正电荷的 $Fe(OH)_3$ 胶体粒子。硫酸亚铁的水解过程是：





$\text{Fe}(\text{OH})_2$ 是带正电荷的胶体粒子。

聚合氯化铝与聚丙烯酰胺是近年发展起来的二种高分子凝聚剂，它们常用于水的凝聚处理。各种凝聚剂投入水中由于发生水解凝聚作用，因而可以把水中的分散很细的汞珠沉淀下来，达到去汞的目的。

2.投加 Na_2S 的目的在于： Na_2S 与 Hg^{2+} 能生成溶解度很小的 HgS ， HgS 颗粒很细，可用过滤法除去，从而可以除去废水中的离子状态存在的汞。

3.凝聚剂与硫化物共投的目的在于：综合了上述二种情况从而使元素汞、离子汞均可除去，以提高除汞效率。

二、实验目的：

通过烧杯实验选择适宜的凝聚剂及它们的投加剂量，给中型试验提供参考数据。

三、实验设备与试剂：

1. 试剂：

(1)明矾 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ 分析纯 mg/L (w/v)

(2) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

(3) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

(4) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

(5) Na_2S

(6)聚合氯化铝，包钢水厂自制（液态物）。其比重1.2，其中三氧化二铝占1%， $\text{PH}=3.5-4.5$ 。以此稀释成所需浓度

5mg/L (w/v) 。

(1)聚丙烯酰胺(即3#絮凝剂)商品中含有效成分8%。配取水解度1:1(即加比),高速搅拌一小时、放置一夜,配成0.1mg/ML的溶液(W/V)。

2 实验设备及器皿:

(1)500ML烧杯若干。

(2)电动搅拌器一台。

(3)移液管。

(4)250ML三角烧瓶若干供取样。

(5)试剂瓶,容量瓶若干。

四、实验方法及结果:

1.各种凝聚剂及硫化钠单独投加时:

以明矾为例:

表 1

杯 号	1	2	3	4	5
水样量 (ML)	400	400	400	400	400
明矾投加量 (mg/L)	100	150	200	250	300

取5个500ML的烧杯,用量筒量取摇匀的废水400ML倒入烧杯,按表1所示的投加量用移液管吸取配制好的凝聚剂到烧杯里。加完后立即用电动搅拌器搅拌10分钟,而后静置一小时,将上清液倒入三角烧瓶待析。

其他几种试剂的实验过程大致与此相同,只是在投量上不同
实验结果详见表2。

2 各种凝聚剂与硫化钠共投时:

表 3

以明矾为例：

杯 号	水样量 (ML)	投 加 量 (mg/L)	杯 号	水样量 (ML)	投 加 量 (mg/L)	杯 号	水样量 (ML)	投 加 量 (mg/L)
1	400	明矾 100	10	400	明矾 300	19	400	明矾 250
2	400	明矾 150	11	400	明矾 100	20	400	300
3	400	明矾 200	12	400	150	21	400	明矾 100
4	400	明矾 250	13	400	200	22	400	150
5	400	明矾 300	14	400	250	23	400	200
6	400	明矾 100	15	400	300	24	400	250
7	400	150	16	400	明矾 100	25	400	300
8	400	200	17	400	150			
9	400	250	18	400	200			

取 2 5个 500mL 的烧杯，分成五组，用量筒取 400ML 废水倒进烧杯里。然后按表 3 中的投加量用移液管定量吸取凝聚剂倒废水中。顺序是先加凝聚剂后加 Na_2S 。加完后立即用电动搅拌器搅拌 10 分钟然后静置 1 小时，将上清液倒入三角烧瓶里待析。

其他试剂与 Na_2S 共投的组合基本上与上述相同，只是组合的次数与各组合的投量不同。它们的组合和投量以及分析结果列表 4

五、小结与讨论：

1. 从各种凝聚剂及硫化钠单独投加的分析结果看出它们对废水中汞的去除均有效。去除率为 60~90%。其中在低油废水时以 FeSO_4 为好。高油废水时以聚丙烯酰胺和聚合氯化铝为好。

FeSO_4 优于其他试剂的原因在于它本身不但是凝聚剂而且本身中之 Fe 具有强烈地还原作用，所以它可以使废水中以离子状态存在的汞还原而被絮团吸附裹挟、沉淀，从而使效果提高。

2. 各种凝聚剂都适于油度高的废水，一般地讲油度面汞含量高，经过凝聚处理后的效率也高。特别是 3 # 絮凝剂尤其如此（参看表 2）。而我们处理的废水油度不高，这就使聚丙烯酰胺在该厂的使用受到限制。

3. 几种无凝聚剂与硫化钠共投对汞的去除达 95% 以上，优于单独投加时的去汞率（见图 1）。这是因为凝聚剂可除去元素态汞，而 Na_2S 可除去离子态汞，生成 HgS 沉淀，还可使絮团加重而沉淀加快，使水很快变清。实验中明显的看到沉渣显着发黑。说明了投加 Na_2S 的作用是显著的。

聚丙烯酰胺、聚合氯化铝等高分子絮凝剂有其独特之点，它们单独投加或者与 Na_2S 混合投加对汞的去除率变化不大，这是因为

· 高分子凝聚剂的分子链长，在凝聚过程中吸附、桥起主要作用，从而形成大颗粒絮凝物，提高了沉降速度，达到处理高浊度水的目的。同时由于静电作用对絮凝的影响较小，所以它们不仅能使带负电的固体颗粒絮凝，而且也可使带正电的金属颗粒絮凝，从而有效地使水中各种状态的汞除去。

本实验中汞的分析为原子吸收光谱法。

表 2

序 号	原 水			实 验 条 件		沉 淀 后 水 质			除 泥 效 率 %
	PH	油度	永mg/L	泥 凝 剂	投加量 mg/L	PH	油 度	永mg/L	
1	7	80°	1.07	明 矾	100	6	10°以下	0.40	62.7
2	7	80°	1.07	"	150		"	0.45	58.0
3	7	80°	1.07	"	200		"	0.34	68.3
4	7	80°	1.07	"	250		"	0.38	64.6
5	7	80°	1.07	"	300		"	0.41	61.7
6	9	70°	2.20	氯化铁	10	8	"	0.38	82.3
7	9	"	2.20	"	15	8	"	0.40	81.8
8	"	"	2.20	"	20	8	"	0.37	83.2
9	"	"	2.20	"	30	8	"	0.30	86.5
10	"	"	2.20	"	40	8	"	0.25	88.7
11	"	"	2.20	"	100	6	"	0.18	91.8
12	"	"	2.20	"	150	6	"	0.35	84.2
13	"	"	2.20	"	200	6	"	0.37	83.2
14	"	"	2.20	"	250	5	"	0.65	70.5
15	"	"	2.20	"	300	5	"	0.60	72.7
16	7	50°	1.2	硫酸铝	100	6	"	0.32	73.4
17	7	"	1.2	硫酸铝	150	6	"	0.35	70.8
18	7	"	1.2	"	200	6	"	0.35	70.8
19	7	"	1.2	"	250	6	"	0.38	68.4
20	7	"	1.2	"	300	6	"	0.14	88.4
21	7	35°	1.7	硫酸亚铁	25	6	"	0.23	86.5
22	7	20°	0.52	"	50	6	"	0.10	80.8
23	7	35°	1.7	"	100	6	"	0.05	97.1
24	7	35°	1.7	"	150	6	"	0.04	97.7
25	7	35°	1.7	"	200	6	"	0.08	95.3
26	7	35°	1.7	"	250	6	"	0.08	95.3
27	7	150°	5.65	聚丙烯酰胺	0.5	PH略	"	0.16	97.0
28	7	"		"	1.0	有	"	0.27	95.7
29	7	"		"	2.0	提	"	0.30	94.7
30	7	"		"	4.0	高	"	0.28	95.0
31	7	"		"	10.0		"	0.27	95.1
32	7	100°	8.5	聚合氯化铝	2.5	6	"	0.16	98.0
33	7	"		"	5.0	6	"	0.30	96.4
34	7	"		"	7.5	6	"	0.14	98.4
35	7	"		"	10.0	6	"	0.23	97.3
36	7	"		"	12.5	6	"	0.25	97.0
37	7	70°	1.2	硫化钠	1.0	(斜管沉淀效果)			69.1
38	7	"	1.2	"	1.0	果)			72.5
39	7	50°	3.2	空 白	无	斜管沉淀效果			70.5
40	7	90°	1.85	"	无				69.1

序 号	原 水		实 验 条 件		8 沉 淀 后 上 清 液		去 汞 率 %		
	PH	油 度 汞mg/l	凝 聚 剂 mg/l	Na ₂ Smg/l	PH	油 度 汞mg/l			
1	7	80°	1.07	明矾: 100	1	6	10以下	0.04	96.3
2	"	"	"	"	2	"	"	0.05	95.4
3	"	"	"	"	3	"	"	0.04	96.3
4	"	"	"	"	4	"	"	0.03	97.2
5	"	"	"	"	5	"	"	0.03	97.2
6	9	"	1.80	明矾: 150	1	8	"	0.18	90.0
7	"	"	"	"	2	"	"	0.14	92.0
8	"	"	"	"	3	"	"	0.14	92.0
9	7	200°	0.85	"	4	6	"	0.05	94.0
10	"	"	"	"	5	"	"	0.04	95.2
11	"	"	"	明矾: 200	1	"	"	0.05	94.0
12	"	"	"	"	2	"	"	0.03	96.4
13	"	"	"	"	3	"	"	0.02	97.5
14	"	"	"	"	4	"	"	0.08	91.7
15	"	"	"	"	5	"	"	0.05	94.0
16	9	50°	1.30	明矾: 250	1	8	"	0.04	96.9
17	"	"	"	"	2	"	"	0.04	96.9
18	"	"	"	"	3	"	"	0.03	97.7
19	"	"	"	"	4	"	"	0.03	97.7
20	"	"	"	"	5	"	"	0.02	98.4
21	"	150°	1.80	明矾: 300	1	"	"	0.05	97.0
22	"	"	"	"	2	"	"	0.03	98.2
23	"	"	"	"	3	"	"	0.02	98.6
24	"	"	"	"	4	"	"	0.05	97.0
25	"	"	"	"	5	"	"	0.06	96.5
26	"	200°	13.2	明矾: 50	1	6	"	0.09	99.3
27	"	"	"	"	2	"	"	0.05	99.6
28	"	"	"	"	3	"	"	0.38	97.2
29	"	"	"	"	4	"	"	0.39	97.1
30	"	"	"	"	5	"	"	0.40	97.0
31	9	40°	0.55	FeCl ₃ 310	1	8	"	0.04	92.7
32	"	"	"	"	2	"	"	0.04	92.7
33	"	"	"	"	3	"	"	0.14	74.5
34	"	"	"	"	4	"	"	0.12	77.2

序 号	原 水		实 验 条 件		沉 淀 后 上 清 液			去汞率 %	
	P H	油 度	汞mg/L	凝 聚 剂 mg/L	Na ₂ S mg/L	P H	油 度		汞mg/L
35	9	40°	0.55	FeCl ₂ 10	5	8	10以下	0.22	60.6
36	"	125°	1.6	"	1	"	"	0.22	86.2
37	"	"	"	"	2	"	"	0.18	88.7
38	"	"	"	"	3	"	"	0.23	85.6
39	"	"	"	"	4	"	"	0.20	87.5
40	"	"	"	"	5	"	"	0.31	80.6
41	"	"	"	20	1	"	"	0.09	94.4
42	"	"	"	"	2	"	"	0.19	88.1
43	"	"	"	"	3	"	"	0.25	84.4
44	"	"	"	"	4	"	"	0.12	92.5
45	"	"	"	"	5	"	"	0.08	95.0
46	7	75°	1.80	" 30	1	6	"	0.03	98.2
47	"	"	"	"	2	"	"	0.02	98.8
48	"	"	"	"	3	"	"	0.05	97.0
49	"	"	"	"	4	"	"	0.01	99.3
50	"	"	"	"	5	"	"	0.02	98.8
51	"	"	"	40	1	"	"	0.00	100.0
52	"	"	"	"	2	"	"	0.05	97.0
53	"	"	"	"	3	"	"	0.00	100.0
54	"	"	"	"	4	"	"	0.02	98.0
55	"	"	"	"	5	"	"	0.00	100.0
56	"	20°	0.52	FeSO ₄ 12.5	1	"	"	0.15	71.2
57	"	"	"	"	2	"	"	0.08	84.7
58	"	"	"	"	3	"	"	0.04	92.3
59	"	"	"	"	4	"	"	0.14	73.0
60	"	"	"	"	5	"	"	0.15	71.2
61	"	35°	1.7	" 25.0	1	"	"	0.03	98.2
62	"	"	"	"	2	"	"	0.08	95.3
63	"	"	"	"	3	"	"	0.07	95.9
64	"	"	"	"	4	"	"	0.06	96.5
65	"	"	"	"	5	"	"	0.14	90.8
66	"	20°	0.52	" 50.0	1	"	"	0.04	92.3
67	"	"	"	"	2	"	"	0.02	96.2

序号	原		水		试验条件		沉淀后上清液		去求率
	PH	油度	永mg/L	凝聚剂mg/L	Na ₂ Smg/L	PH	油度	mg/L	
68	7	20°	0.52	F80 450.0	3	6	10°以下	0.00	100.0
69	"	"	"	"	4			0.02	96.2
70	"	"	"	"	5			0.02	96.2
71	"	50°	1.85	硫酸铝 25	1			0.05	97.2
72	"	"	"	"	2			0.02	98.7
73	"	"	"	"	3			0.02	98.7
74	"	"	"	"	4			0.03	98.2
75	"	"	"	"	5			0.02	98.7
76	"	"	"	50	1			0.05	97.2
77	"	"	"	"	2			0.03	98.2
78	"	"	"	"	3			0.01	99.3
79	"	"	"	"	4			0.08	95.5
80	"	"	"	"	5			0.03	98.2
81	"	"	1.2	100	1			0.05	95.8
82	"	"	"	"	2			0.04	96.7
83	"	"	"	"	3			0.08	93.4
84	"	"	"	"	4			0.03	97.5
85	"	"	"	"	5			0.02	98.3
86	7	40°	3.4	150	1			0.05	98.5
87	"	"	"	"	2			0.07	97.9
88	"	"	"	"	3			0.07	97.9
89	"	"	"	"	4			0.07	97.9
90	"	"	"	"	5			0.08	97.7
91	"	200°	13.2	3#	1	7		0.17	99.0
92	"	"	"	1	2			0.17	99.0
93	"	"	"	1	3			0.20	98.5
94	"	"	"	1	4			0.19	98.3
95	"	"	"	1	5			0.19	98.3
96	"	100°	8.5	聚氯化铝 5	1	6		0.06	99.3
97	"	"	"	"	2			0.06	99.3
98	"	"	"	7.5	1			0.03	99.6
99	"	"	"	10.0	1			0.04	99.3
100	"	"	"	10.0	2			0.03	99.4

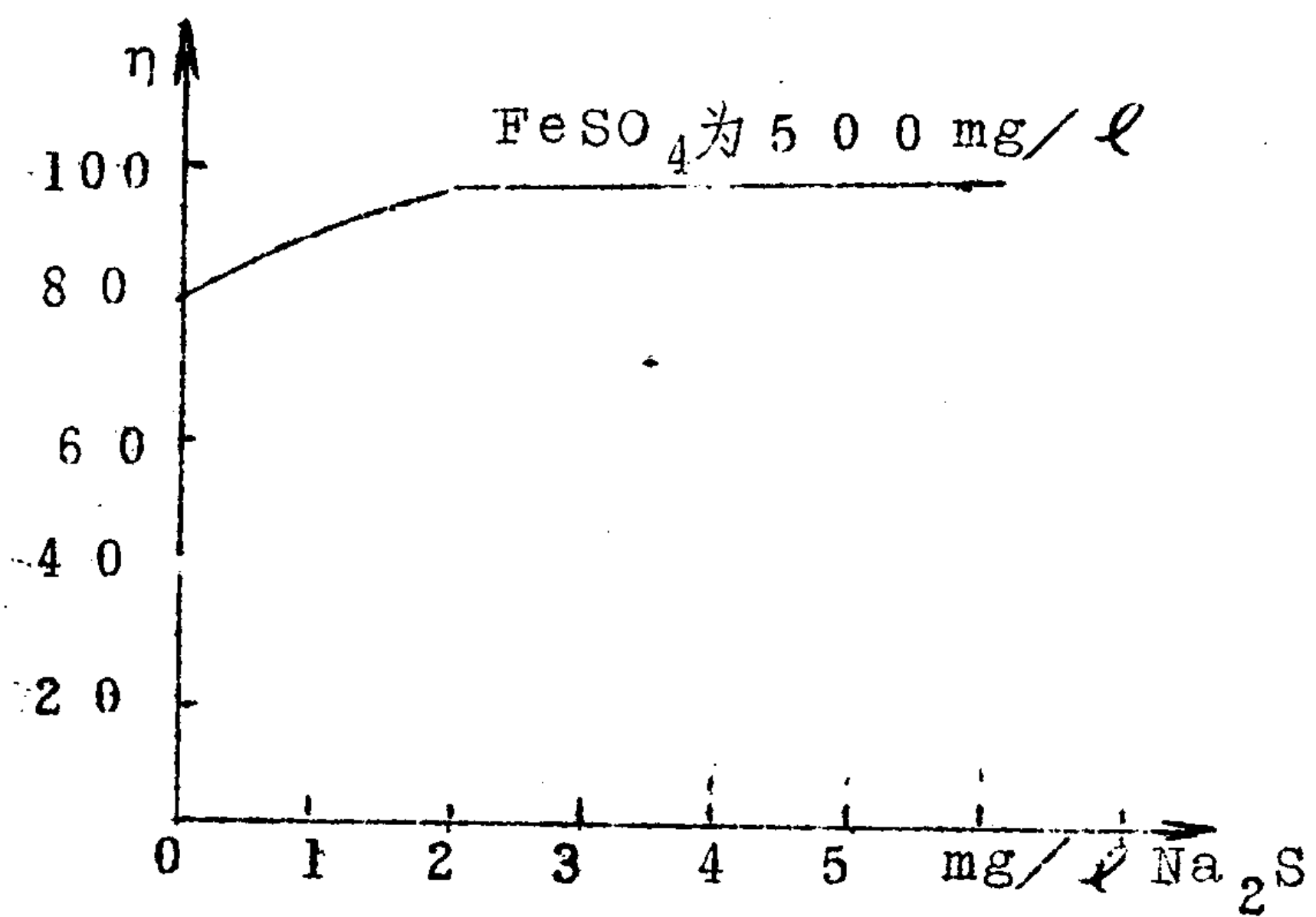
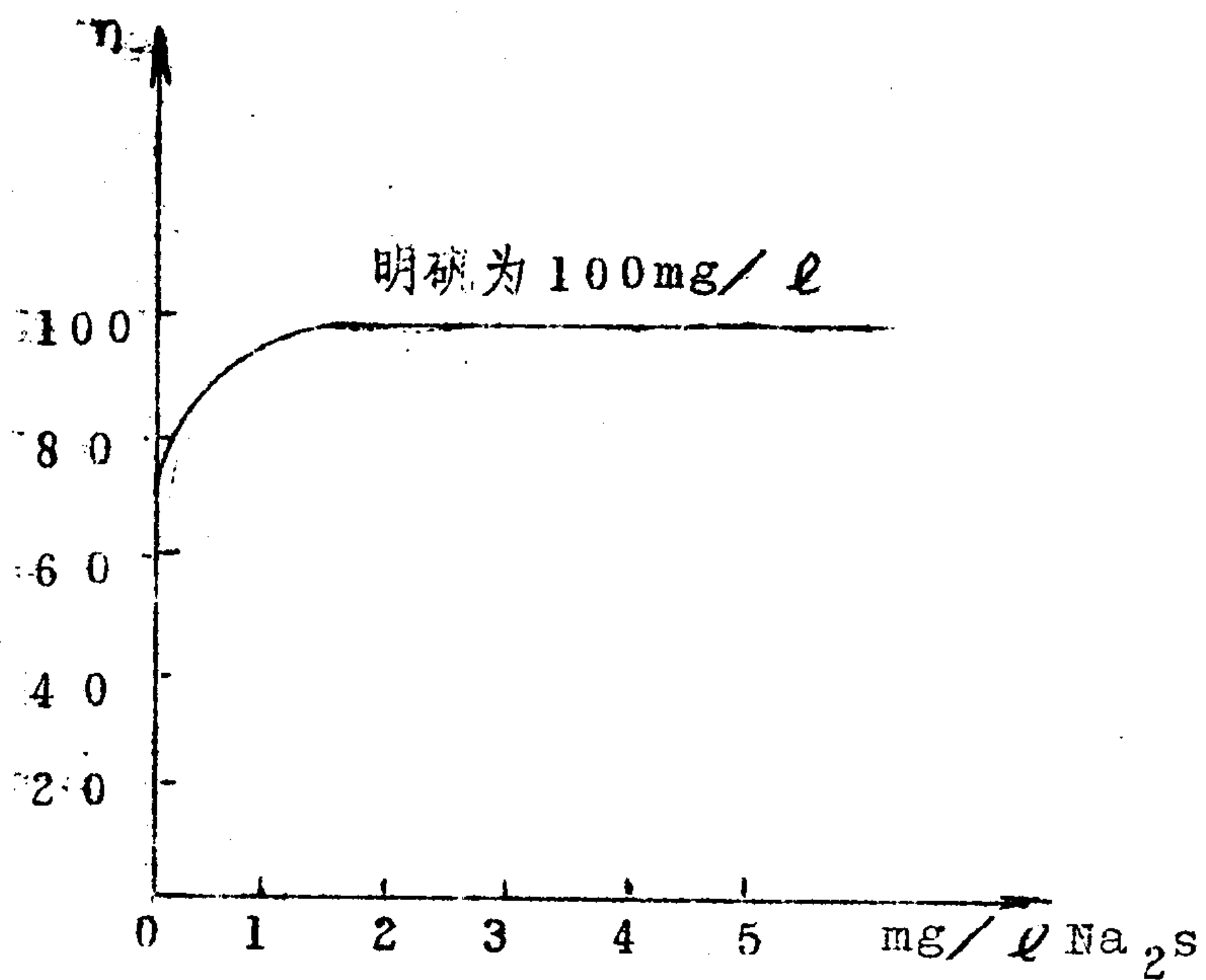


图1

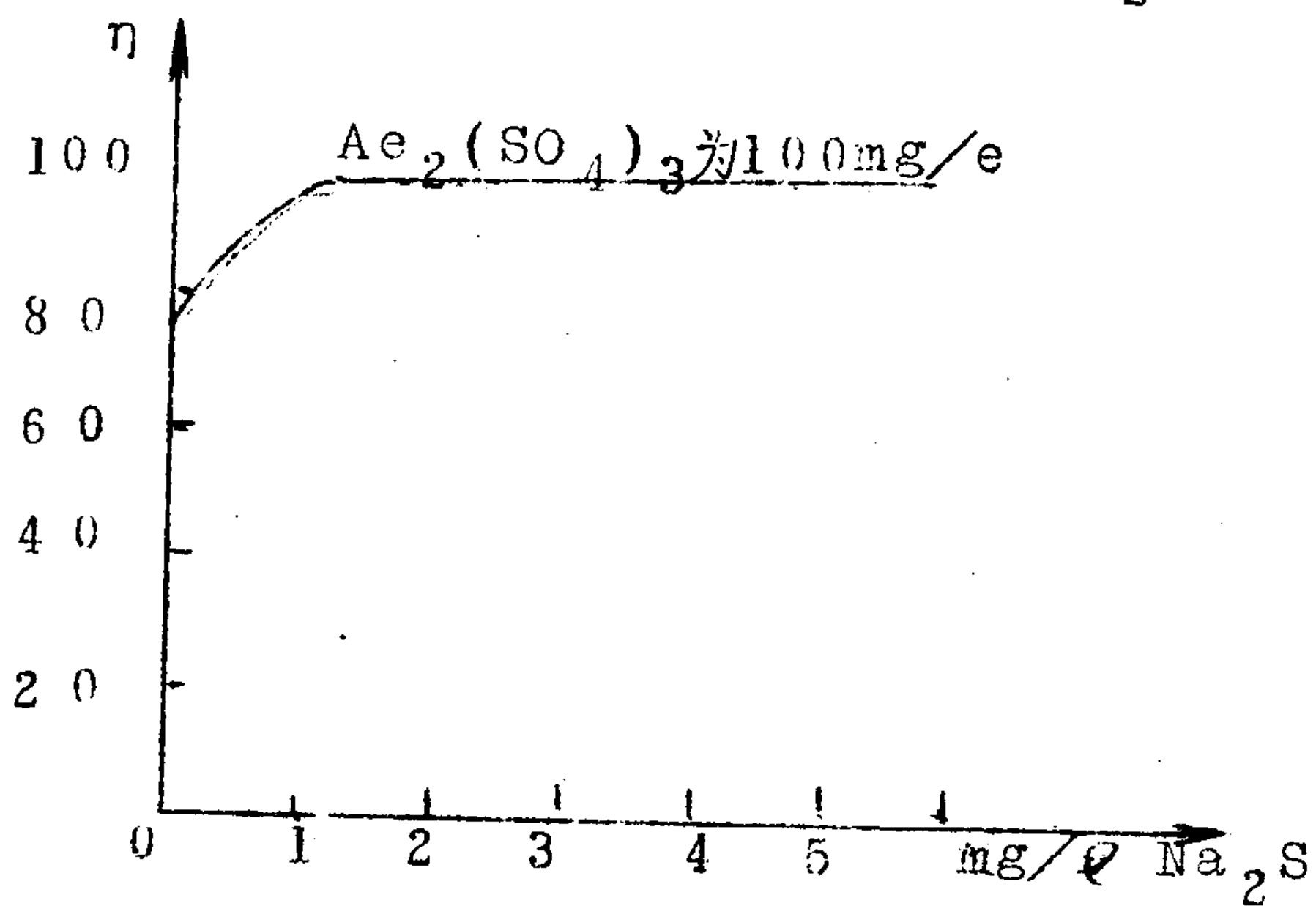
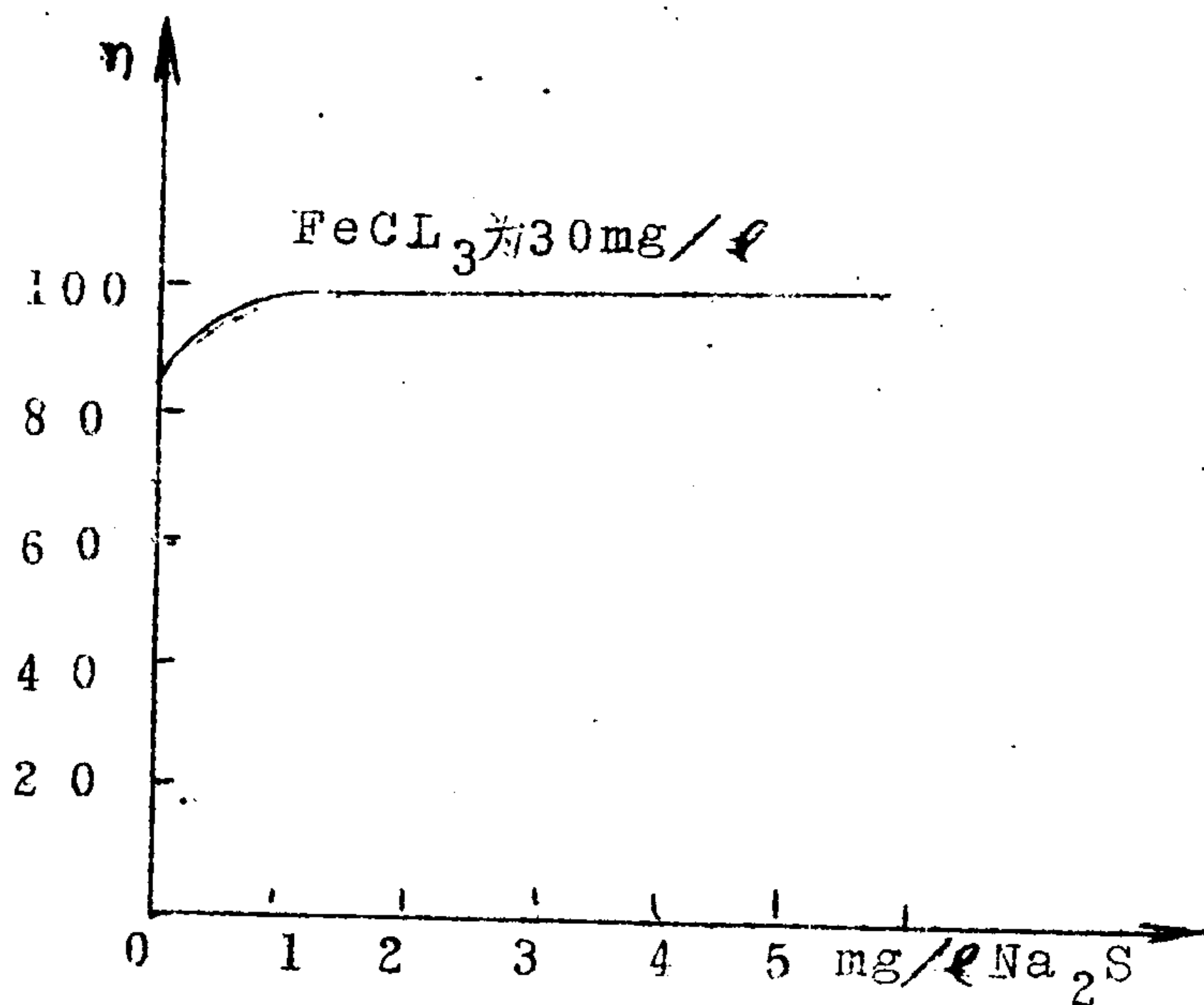


图 1

第二部分 中型试验

一、试验目的：

混凝沉淀法处理含汞废水所用的化学药剂种类很多，本次试验我们选用了七种，通过试验寻求一两种合适的混凝剂，找出最佳投药量，因为小试验的混凝沉淀设备完全模拟 4 1 (1) 含汞废水处理车间的设计条件只是在尺寸上加一缩小。所以通过试验考验混凝沉淀设备，求出除汞效果。

砂滤在给水处理上广泛应用，处理含汞废水应用砂滤者则不多，通过试验寻求合适的工艺条件，求出砂滤的除汞效率。

二、试验内容：

这次我们对以下七种混凝剂：明矾 ($\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)、硫酸铝 ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)、硫酸亚铁 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、三氯化铁 ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)、三号高分子混凝剂（又名聚丙烯酰胺）、聚合氯化铝（又名碱式氯化铝）、硫化钠 ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) 进行试验。首先每种混凝剂单独投加，然后每种混凝剂和硫化钠同时投加。从烧杯试验中，选择除汞效果较好的数据，做出如下十八组试验，见表 5

表 5

组别	处理量 L/hr	滤料粒径 mm	投 药 种 类	投药量 mg/L	备 注
1	15	1.0-0.4			
2	"	"	ALK(SO ₄) ₂ ·18H ₂ O	100	
3	"	"		200	
4	"	"	FeSO ₄ ·7H ₂ O	100	
5	"	"	聚合氯化铝	10	
6	"	"	3# 混凝剂	1	
7	"	"	Na ₂ S·9H ₂ O	1	
8	"	"	ALK(SO ₄) ₂ ·18H ₂ O Na ₂ S·9H ₂ O	100 1	
9	"	"	FeCl ₃ ·6H ₂ O Na ₂ S	15 1	
10	"	"	FeCl ₃ ·6H ₂ O Na ₂ S	30 1	
11	"	"	FeSO ₄ ·7H ₂ O Na ₂ S·9H ₂ O	50 1	
12	"	"	聚合氯化铝 Na ₂ S·9H ₂ O	10 1	
13	"	"	聚合氯化铝 Na ₂ S·9H ₂ O	5 1	
14	15	"	3# 混凝剂 Na ₂ S·9H ₂ O	100 1	
15	20	"	ALK(SO ₄) ₂ ·18H ₂ O Na ₂ S·9H ₂ O	100 1	
16	25	"	ALK(SO ₄) ₂ ·18H ₂ O Na ₂ S·9H ₂ O	100 1	
17	15	0.4-0.2	Na ₂ S·9H ₂ O	1	
18	15	"	ALK(SO ₄) ₂ ·18H ₂ O Na ₂ S·9H ₂ O	50 1	模拟事故 PH=12
19	15	0.4-0.2	ALK(SO ₄) ₂ ·18H ₂ O Na ₂ S·9H ₂ O	100 2	

三、试验流程：

试验流程如图所示，生产废水从车间废水贮槽中自流到贮槽①中，用泵②把废水提升到高位槽③，供试验时用。生产废水从高位槽经流量计⑧定量地进入混合反应槽。用下口瓶⑤定量地向混合反应槽中投加药剂。反应后废水自流进入斜管沉淀槽⑥，沉淀槽的上清水，从上部流出，进入滤柱⑦过滤，滤后清水排入车间废水池。对生产废水，沉淀清水，滤后水分别取样分析汞含量和浊度，沉淀槽中的污渣从下部排出，排到车间废水池中。砂滤柱反冲洗用自来水，通过流量计⑧，定量地进行反洗，反冲洗废水从滤柱上部溢流流出，排到车间废水池。

每个条件试验十八个小时，每两小时取样一次，每个条件试验取样八次，分析汞含量和浊度，计算处理效果。

混合反应槽：长200，宽200，高300（包括超高160），水下进上出，水在槽内停留时间约20分钟。

斜管沉淀槽：斜管长1000，管径 $\varnothing 25$ ，倾斜角 $\alpha = 60^\circ$ ，配水部分 200×200 ，高400，集中水部分 200×200 ，高500，（包括超高100），管内上升流速 1.4 mm/s ，在沉淀槽内总停留时间1.5小时。

砂滤柱：直径 $\varnothing 50$ ，总高1900。滤速 7.5 m/h ，垫层高300，用 $3 \sim 12 \text{ mm}$ 粒石衬垫。滤层高700 mm，滤料为 $0.4 \sim 1.0 \text{ mm}$ ， $0.2 \sim 0.4 \text{ mm}$ 石英砂，两种分别使用。