

# 电解电渗析法处理硼酸铵料液 分离氨及硼酸的研究

陈大福 王政存 郑竹林 虞湛华

## 一、前言

碳铵法加工硼镁矿制取硼酸新工艺，在国内已进行了较多的研究，已有辽宁省开原化工厂用于生产。<sup>[1-3]</sup>

该工艺是以碳酸氢铵溶液浸取焙烧后的粉状硼镁矿，所得的浸取液主要含有硼酸铵及过量的碳酸氢铵。为了使铵与硼酸分离，把硼酸铵料液送入不锈钢的蒸馏塔中，通入蒸汽使硼酸铵分解，蒸馏出来的氨经冷凝塔回收，溶液里主要含有硼酸，再经蒸发结晶而获得硼酸产品。这一蒸氨过程，热量消耗大，氨的损失多，蒸发塔效率不高，易受腐蚀，设备投资多，是影响这一工艺推广使用的技术关键问题之一。<sup>[4,5]</sup>有的单位曾进行了离子交换法的除氨试验，由于技术经济问题未能用于生产。

应用离子交换膜电渗析技术处理硼酸铵料液分离氨及硼酸的研究，国内外尚无文献资料可以借鉴。我们以人工合成的硼酸铵—碳酸氢铵混合溶液和实际生产料液为原料，用电解—电渗析法<sup>[6]</sup>，进行了一系列的条件试验，获得了良好的技术指标，为硼酸铵料液中氨和硼酸的分离提供了新的技术

方法。

## 二、工艺原理

硼酸铵料液的主要成份，随着氨硼比的变化生成不同的硼酸铵。<sup>[7,8]</sup>

碳铵法加工硼镁矿制取硼酸的料液，其 $\text{NH}_3/\text{H}_3\text{BO}_3$ 分子比为1.41。硼主要以单硼酸铵( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3$ )形式存在，料液中还有过量的碳酸氢铵。国内外采用蒸馏法脱氨制硼酸，是根据硼酸铵具有受热逸出氨、生成硼酸的特性而实现的。

电解—电渗析法脱氨制硼酸，是用单阳离子交换膜二室型电解—电渗析槽进行的，其原理见图1。

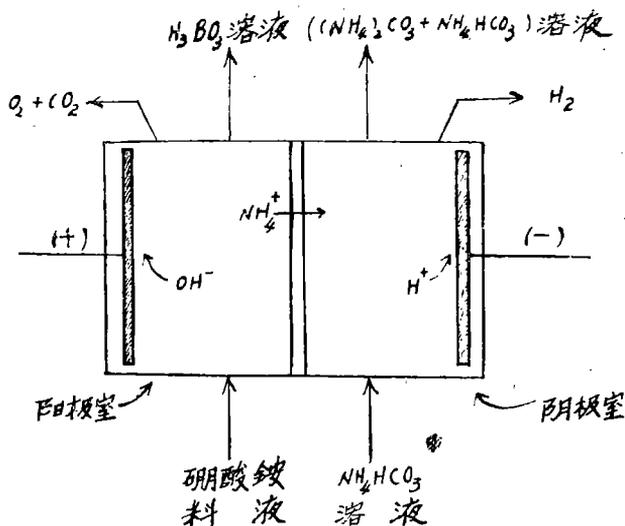
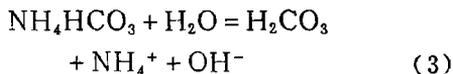
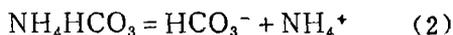
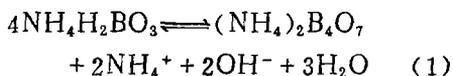


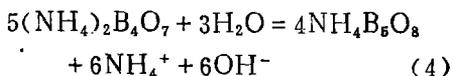
图1 硼酸铵料液电解电渗析脱氨原理图

### (一) 阳极室内的电化学反应

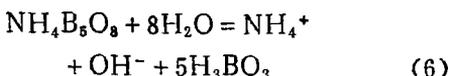
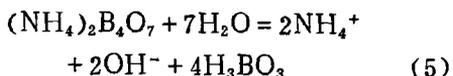
硼酸铵料液有下列平衡反应存在:



在电场作用下  $\text{NH}_4^+$  透过阳离子交换膜进入阴极室, 致使反应(1)向右移动,  $(\text{NH}_4)_2\text{B}_4\text{O}_7$  的浓度逐渐增加。当  $\text{NH}_4^+$  浓度降到一定程度时有反应(4)存在。



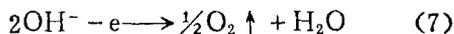
硼酸铵(四硼酸铵、五硼酸铵等)作为弱酸弱碱盐在水溶液中会水解<sup>[9]</sup>, 水解反应为:



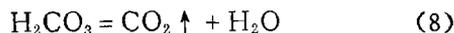
在电解—电渗析过程中继续脱氨使反应进行到底, 即可在阳极室中得到硼酸, 铵离子迁移到阴极室去, 就达到了氨和硼酸分离的目的。硼酸属于十分弱的酸, 第一级解离常数  $K_1 = 6 \times 10^{-10}$ , 它很少解离。因此, 在阳极室产生的硼酸能够不透过阳离子交换

膜而成硼酸状态被回收。

阳极上的主要反应为:

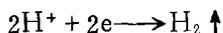


在阳极室中随着氧气的放出,  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{OH}^-$  浓度下降, 酸度提高, 式(2)、(3)中  $\text{H}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{HCO}_3^-$  会分解放出  $\text{CO}_2$ :



### (二) 阴极室内的电化学反应

阴极室液为碳酸氢铵溶液, 阴极上的主要反应是氢离子被还原放出氢气:



从阳极室迁移过来的  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  结合, 形成  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 。

阳极室流出液, 经蒸发, 结晶制取硼酸。阴极室流出液为碳酸铵、碳酸氢铵的混合溶液, 可回收利用。

## 三、实际生产料液实验结果与讨论

首先以人工合成的硼酸铵料液进行了一系列条件试验, 对电极材料和离子交换膜种类进行了筛选试验。在此基础上, 以生产中的实际料液对重要的工艺条件和主流程进行了试验。

### (一) 实验结果:

实验用原料液是开原化工厂生产料液, 组成见表1。阴极室原料液系用碳酸氢铵试剂配制, 各组试验用原料液组成见表2。

表1. 实验用生产料液组成

项 目	$\text{H}_3\text{BO}_3$	$\text{NH}_3$	$\text{CO}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{SO}_4^-$	$\text{Cl}^-$	Ca	$\text{Mg}^{++}$	Fe	$\text{Na}^+$	总 $\text{NH}_3$
组 (N)	1.263	0.6992	0.2628	/	0.2092	0.0350	0.000257	0.000668	/	/	0.9053
成 (克/升)	78.10	11.91	5.782	0.235	10.05	1.242	0.00515	0.00811	<0.0015	0.058	13.96

表2. 阴极室原料液组成

编 号	NH <sub>3</sub>		CO <sub>2</sub>		碳化度 (NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> HCO <sub>3</sub> ) 的百分率
	N	(克/ 升)	N	(克/ 升)	
E-7-a°	2.116	36.04	4.513	99.29	87.55
E-11-1a°	1.573	26.79	/	/	/
E-11-2a°	0.5394	9.186	/	/	/
E-11-3a°	1.072	18.26	/	/	/
E-10-2a°	1.962	33.42	/	/	/
E-13-2a°	2.019	34.38	/	/	/

表3. 操 作 条 件 及 结 果

编 号	电 流		时 间 (小时)	平均电压 (V)	电 量 (Ahr)	硼收率 (%)	脱氨率 (%)	脱氨电流 效率(%)	单位电耗 (Kwhl/ 硼酸)	氨硼比 (克分子)
	(毫安/ 厘米 <sup>2</sup> )	(安培)								
E-7-4	40	2.0	8.28	6.03	16.56	95.00	99.69	102.8	1345.5	0.0018
E-7-2	60	3.0	5.67	6.73	17.01	94.43	99.17	99.04	1553.3	0.0048
E-7-3	80	4.0	4.28	7.83	17.12	92.32	100.0	99.72	1858.1	0

1.不同电流密度实验:

用钛镀二氧化铅为阳极,不锈钢为阴极,阴极液为(E-7-a°),实验操作条件及结果见表3,通电时间与槽电压关系见图2。

2.不同温度实验:

取E-7a°为阴极室原料液,电流密度为60毫安/厘米<sup>2</sup>,不同温度的操作条件及结果见表4。

实验结束后,拆槽对膜及电极情况进行观察,在30°C和50°C条件下,膜和钛镀二氧化铅电极及钛涂钉电极均完好无损。

3.不同电极材料实验:

用不同材料阳极组成的电解电渗析槽,

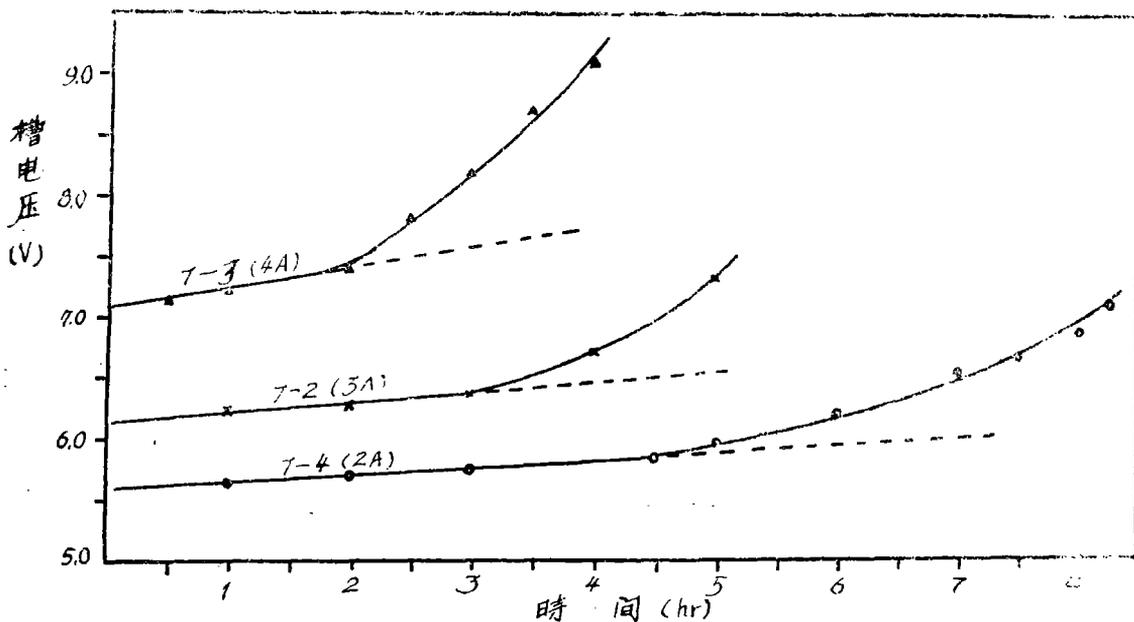


图2 不同电流密度下时间与电压关系曲线

表4. 操作条件及结果

编号	时间(小时)	平均电压(V)	电量(Ahr)	电极材料	温度(℃)	硼收率(%)	脱氮率(%)	脱氮电流效率(%)	单位电耗(度/吨硼酸)	氮硼比(克分子)
E-7-2	5.67	6.74	17.01	PbO <sub>2</sub>	30	94.43	99.17	99.04	1553.3	0.0048
E-8-1	5.50	6.14	16.50	PbO <sub>2</sub>	50	96.25	100.0	104.2	1347.1	0.000
E-9-1	5.50	5.87	16.50	钛涂钉	30	92.33	98.22	101.7	1365.4	0.011
E-9-2	5.40	5.32	16.26	钛涂钉	50	95.71	99.56	101.7	1156.8	0.0026

电流密度为60毫安/厘米<sup>2</sup>，操作条件及结果见表5。实验结束，E<sub>105</sub>膜、不锈钢阴极、涂

钉阳极、二氧化铅阳极均完好无损，铅阳极有腐蚀，表面有褐色物和白色斑点。

表5. 操作条件及结果

编号	时间(小时)	平均电压(V)	电极材料	硼收率(%)	脱氮率(%)	脱氮电流效率(%)	单位电耗(度/吨硼酸)	氮硼比(克分子)
E-7-2	5.67	6.74	PbO <sub>2</sub>	94.43	99.17	99.04	1553.3	0.0048
E-9-1	5.50	5.97	钛涂钉	92.33	98.22	101.7	1365.4	0.011
E-9-3	5.37	5.71	Pb	96.93	92.77	99.07	1218.4	0.042

4.不同浓度阴极液实验:

取不同浓度阴极室原料液(E-11-1a°、E-11-2a°、E-11-3a°及E-7a°)2000毫升电

流密度为60毫安/厘米<sup>2</sup>，操作条件与结果以及阴极室液中氮的收率见表6。

表6. 操作条件与结果以及阴极室液中氮的收率

编号	时间(小时)	平均电压(V)	阴极原料(N)		硼收率(%)	脱氮率(%)	脱氮电流效率(%)	单位电耗(度/吨硼酸)	氮硼比(克分子)	氮收率(%)
			NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>						
E-11-2	5.50	7.66	0.5394	2.019	97.28	98.70	106.0	1661.6	0.0074	99.98
E-11-3	5.50	7.45	1.072	2.629	95.56	97.46	103.0	1642.4	0.0147	95.26
E-11-1	5.33	6.88	1.573	3.603	94.81	95.48	102.0	1485.9	0.0264	92.20
E-7-2	5.67	6.74	2.116	4.513	94.43	99.17	99.04	1553.3	0.0048	88.87

5.不同脱氮率实验:

取阳极原料液1200毫升，阴极室原料液2000毫升(E-10-1为E-7a°，E-20-2为E-

10-2a°、E-10-3为E-13-2a°)。电流密度为60毫安/厘米<sup>2</sup>实验的操作条件及结果见表7，分析结果见表8。

表7. 操作条件及结果

编号	时间(小时)	温度(℃)	槽电压(V)	硼收率(%)	脱氮率(%)	脱CO <sub>2</sub> 率(%)	电流效率(%)	耗电量(kwhr/T)	氮硼比(克分子)
E-10-1k <sub>1</sub>	2.23	30	6.20	96.93	37.97	43.72	/	456.4	0.354
E-10-1k <sub>2</sub>	4.32	30	6.33	96.29	69.47	/	/	924.9	0.178
E-10-1k <sub>3</sub>	5.30	30	6.45	95.47	83.80	73.40	/	1177.4	0.0980
E-10-1k <sub>4</sub>	5.92	30	6.56	95.80	99.30	/	/	1351.6	0.00438
E-10-1k <sub>5</sub>	6.35	30	6.64	94.55	100.0	/	101.4	1527.0	0.00
E-10-2k <sub>1</sub>	2.03	50	5.81	98.69	38.09	41.85	/	3788.9	0.344
E-10-2k <sub>2</sub>	4.11	50	5.90	98.27	69.60	/	/	8888.9	0.174
E-10-2k <sub>3</sub>	5.10	50	6.15	97.34	83.63	70.16	/	1099.3	0.0974
E-10-2k <sub>4</sub>	5.72	50	6.40	96.28	93.30	/	/	1256.3	0.0394
E-10-2k <sub>5</sub>	6.50	50	6.50	96.56	100.0	/	100.2	1458.8	0.00
E-10-3k <sub>1</sub>	2.50	50	6.00	98.94	52.18	32.82	/	582.1	0.267
E-10-3k <sub>2</sub>	4.00	50	6.08	97.25	74.54	/	/	809.7	0.148
E-10-3k <sub>3</sub>	5.00	50	6.11	96.55	86.89	/	/	1033.1	0.0795
E-10-3k <sub>4</sub>	5.50	50	6.18	96.33	92.75	60.65	/	1357.9	0.0459
E-10-3k <sub>5</sub>	6.08	50	6.31	96.60	99.59	/	104.5	1171.3	0.00271

表8. 料液体积及组成

编号	阳极液(毫升)	阳极液组成(N)			阴极液(毫升)	阴极液组成(N)			阳极液pH
		H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>		H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	
E-10-1k <sub>1</sub>	(50)	1.254	0.4441	0.1479	/	/	/	/	8.2
E-10-1k <sub>2</sub>	(50)	1.278	0.2277	/	/	/	/	/	7.0
E-10-1k <sub>3</sub>	(50)	1.284	0.1262	0.0679	/	/	/	/	6.4
E-10-1k <sub>4</sub>	(50)	1.301	0.00570	/	/	/	/	/	5.4
E-10-1k <sub>5</sub>	920	1.281	0.00	/	2050	0.00931	2.378	4.261	3.0
E-10-2k <sub>1</sub>	(50)	1.274	0.4383	0.1528	/	/	/	/	8.5
E-10-2k <sub>2</sub>	(50)	1.276	0.2218	/	/	/	/	/	7.0
E-10-2k <sub>3</sub>	(50)	1.274	0.1241	0.0784	/	/	/	/	6.4
E-10-2k <sub>4</sub>	(50)	1.273	0.5307	/	/	/	/	/	5.4
E-10-2k <sub>5</sub>	953	1.280	0.00	/	2050	0.0110	2.233	4.042	2.0
E-10-3k <sub>1</sub>	(50)	1.271	0.3399	0.1765	/	/	/	/	8.5
E-10-3k <sub>2</sub>	(50)	1.272	0.1885	/	/	/	/	/	7.0
E-10-3k <sub>3</sub>	(50)	1.277	0.1015	0.1034	/	/	/	/	6.7
E-10-3k <sub>4</sub>	(50)	1.282	0.0588	/	/	/	/	/	5.4
E-10-3k <sub>5</sub>	940	1.296	0.00344	/	2050	0.0104	2.270	/	3.0

## 6. 流程试验:

### 1) 二膜三极串联装置

第一级阳极和阴极都是铅板, 第二级阳极为铅板与第一级阴极共用, 阴极为不锈钢。阴极、阳极室原料液都为五升(阴极原料为 E-13-2a°), 在 50°C 下以 5 升/时的流量进行循环脱氨。分两段脱氨, 第一段操作电流为 3A(安培), 脱氨率控制在 85% 以下。第二段

操作电流为 1 安培, 控制脱氨率达 100%, 实验结果见表 9 的 E-13-1K<sub>1</sub> 和 E-13-1K<sub>2</sub>。

2) 单膜二室型装置: E<sub>105</sub> 膜及不锈钢阴极和二氧化铅阳极组装的电解电渗析槽, 取阴、阳极室液原料各 5 升(阴极室原料液为 E-13-2a°), 50°C 3 安培电流密度下, 以 5 升/时的流量进行循环脱氨试验。实验结果见表 9 的 E-13-2K。

表 9. 分析数据及试验结果

编 号	电 流 (A)	时 间 (小 时)	平 均 电 压 (V)	阳 极 液 (毫 升)	阳 极 液 组 成 (N)		阴 极 液 (毫 升)	阴 极 液 组 成 (N)		硼 收 率 (%)	脱 氨 率 (%)	氨 硼 比 (克 分 子)	电 流 效 率 (%)	耗 电 量 (度/T- H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )
					H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>		H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>					
E-13-1k <sub>1</sub>	3.0	11.0	9.10	4815	1.280	0.1090	5235	0.0130	3.328	97.60	84.99	0.0852	108.5	787.9
E-13-1k <sub>2</sub>	1.0	8.08	7.18	4640	1.283	0.00	5105	0.0204	2.407	95.20	100.0	0.00	98.29	157.6
E-13-2k	3.0	27.0	6.20	4760	1.299	0.00685	5300	0.0176	2.476	97.91	99.07	0.0527	107.1	1313.4

### 7. 蒸发制硼酸实验:

为了考察电解电渗析处理硼酸铵料液分离氨后的溶液蒸发制取硼酸的效果, 选用三种料液进行了蒸发试验。

蒸发是在联有冷凝管的三颈烧瓶中进行取一定量电解电渗析后的阳极液置入三口烧瓶中, 加热使其沸腾蒸发, 控制一定的蒸

出水量, 蒸发结束将溶液转移至结晶装置中。结晶过程是在装有搅拌装置的量筒中进行, 量筒用水浴控制冷却速度, 约经 1.5 小时, 冷却至 25°C。将硼酸料浆用布氏漏斗抽滤, 抽滤干后进行洗涤, 再抽滤至干。硼酸置入培养皿中, 60°C 下干燥 12 小时, 干燥硼酸按国定标准检验<sup>10</sup>。实验结果见表 10 和表 11。

表 10. 蒸发制取硼酸的实验结果

编 号	原 料 液				蒸 出 水 量 (毫 升)	结 晶 母 液 (毫 升)	洗 涤 条 件	蒸 出 水 带 失 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (%)	湿 硼 酸 (克)	干 硼 酸 (克)	硼 酸 含 水 率 (%)	硼 酸 结 晶 率
	编 号	(ml)	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (克)	氨 硼 比 (M01)								
Z-1	E-13-2k	3000	240.99	0.00527	2020	800	未 洗	0.34	204.1	180.0	13.72	72
Z-2	E-8-1k	890	70.45	0.00	595	230	50ml 水 洗 1 次	0.18	57.4	52.2	10.00	73
Z-3	E-1-11k	735	57.32	0.00264	490	192	30ml 水 洗 1 次	/	39.9	37.3	6.97	74
资料[3]	/	/	/	0.04	/	/	未 洗	0.6	/	/	5.0	60

### (二) 实验结果的讨论:

1. 从表 1 的结果中可知, 料液中含有多量的硫酸铵。这一点过去的资料没有介绍过。对于电解电渗析过程却是一个有利的因素, 可使槽电压降低。

2. 从表 3 可以看出不同电流密度下都可以获得

很高的硼收率, 脱氨率。操作电流密度为 60 毫安/厘米<sup>2</sup>是适宜的。

3. 表 4 表明, 随着温度升高, 单位电耗量降低。温度提高 20°C(度), 耗电量降低了 14% 左右, 但温度不宜再提高了, 因为 E 105 膜使用温度不得高于

表11. 分析实验结果

编 号	硼酸成份分析 (%)				蒸出水含 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (克/升)	浓缩液H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>		结晶母液(克/升)	
	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	水不溶物	Fe	SO <sup>-</sup>		(克/升)	倍 数	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	SO <sup>-</sup>
Z-1	99.06	0.013	≤0.002	<0.4	0.377	245.8	3.06	74.24	41.83
Z-2	99.43	0.012	≤0.002	<0.1	0.210	239.1	3.02	79.34	40.49
Z-3	99.81	0.010	≤0.002	<0.1	/	233.9	3.00	101.1	40.32
资料 [3, 10]	≥99	≤0.05	≤0.002	≤0.1	/	~225	/	~105	/

50℃

4.表5指出,在30℃下,三种电极材料都有良好的脱氨效果及耐腐蚀性。铅阳极的腐蚀情况比试剂配制料液试验轻,三种材料的阳极,槽电压有所不同,钛镀二氧化铅>钛涂钉>铅。二氧化铅电极制备方便,成本低,但析氧电位高。钛涂钉电极耐腐蚀,槽电压低,但来源困难。铅电极在50℃温度下长期使用,腐蚀严重。

5.表6结果可以看出,阴极室液浓度,对硼收率、脱氨率无明显影响。在溶液中氨的回收率,随着浓度增高而降低,因此,阴极室碳酸氢铵采用较低浓度为宜。

6.表7表明,随着脱氨率提高,硼酸收率略有降低。

7.从表8可以看出,脱氨率在90%以下时,耗电量与脱氨率成正比,继续脱氨耗电量将显著增大。

8.在电解电渗析过程中Ca、Mg、Na等阳离子可部分地被除去,而SO<sub>4</sub><sup>-</sup>和SiO<sub>2</sub>则留在阳极液中,Cl<sup>-</sup>由于在阳极上放电变成Cl<sub>2</sub>而从溶液中除去部分。因此,可以说在电解电渗析过程,对硼酸料液起了一定的精制作用。

9.三种料液蒸发实验的表10、11结果表明,本方法与原工艺方法比,由于氨硼比小,结晶率可以提高。产品质量也比较好。Z-1结果SO<sub>4</sub><sup>-</sup>含量没有达到一级标准,主要原因是抽滤不干,吸附母液量多,而又没有洗涤所造成的,Z-2、Z-3都进行了一次少量水洗涤,产品均达到了工业一级品标准E-3质量更好些,主要是结晶率低的关系。三种料液浓缩倍数基本相同,都冷却到25℃,而Z-3结晶率低,主要是料浆的氨硼比大、酸度小的关系。

10.膜的稳定性问题,使用E 105型阳离子交换膜,累积使用时间达310小时,膜仍完好无损。

11.铅电极在50℃条件下腐蚀比较严重,铅阳极不适用。钛涂钉和钛基体镀二氧化铅电极耐腐蚀性好。二氧化铅电极累积使用时间达171小时,电极

重量没有发生显著变化,外观仍完好无损。

## 四、结 论

(一)电解电渗析法处理硼酸铵料液分离氨及硼酸的研究结果表明,这一新的技术方法是可行的,为硼酸铵料液中氨与硼酸的分离开辟了新的途径,提供了新的技术方法。

(二)电解电渗析过程是比较复杂的溶液物理化学和电化学过程。初步探讨其主要反应原理,是利用硼酸铵水溶液有水解的特性。由于电渗析的作用,使铵离子通过阳离子交换膜,迁移到阴极室去,脱离水解平衡,使料液中水解反应进行到底,最后全部变为硼酸,而电极反应可以简单地看作是对水的电解。

(三)获得了比较好的技术指标,硼收率达到了97%,脱氨率达到95%以上,氨收率88%,脱二氧化碳率达98%。实际料液试验结果表明,处理含一吨硼酸的料液,耗电量为1310度。

(四)通过对膜和电极材料的筛选实验,认为浙江湖州化工厂的E105阳离子交换膜为好,阳极材料以钛镀二氧化铅为好,阴极材料以不锈钢为好。

(五)电解电渗析过程的优惠条件,电流密度为60毫米/厘米<sup>2</sup>。阴极液的流速要大于26厘米/分。温度为50℃。采用单膜二室型电解电渗析槽,全部并联组装。若有适宜的电极材料,采用串联组装方式更有其优越性。

(六)与蒸馏脱氨方法比较有以下优点:

1.脱氨效果好,可以使氨硼比降到零,便于控制适当酸度,对整个生产带来很大好

处,提高了结晶率,有利于产品质量的提高。

2.可以节省能量,该工艺方法处理含一吨硼酸的料液,耗电为1310度。

3.设备简单投资省。电解电渗析装置,操作方便适宜进行自动化集中控制。劳动保护条件好。

(七)本实验结果,可作为放大实验的依据。

(八)硼酸盐(硼酸铵及碱金属硼酸盐)的电解电渗析过程原理,今后有待深入研究,可能对硼酸工业的变革做出贡献。

※ ※ ※

致谢:

宋彭生同志在硼酸盐的制备、性质等方面的资料上给予了我们无私的帮助;王国莲同志用原子吸收法,为我们测定了样品中钠的含量、开原化工厂张德金、刘淑芹同志参加了部分试验工作。在此表示衷心的感谢。

### 参 考 文 献

[1]“氨法加工硼镁矿制取硼酸小实验报

告”化工部天津化工研究院。(1966年4月)

[2]“氨法加工硼镁矿制取硼酸模型试验报告”化工部天津化工研究院(1966年4月)。

[3]“碳铵法加工凤城硼镁矿制取硼酸中间试验报告”开原化工厂,天津化工研究院(1967年)。

[4]“碳氨法加工冶山硼矿情况简介”无锡化工厂(1975年10月)。

[5]“关于碳氨法生产硼酸的工艺路线的情况”开原化工厂(1975年10月)。

[6]“电渗析法处理硼酸铵料液分离氨及硼酸探索实验小结”中国科学院青海盐湖研究所(1979年5月)。

[7]U.Sborgi Atti reale accdd Lihcei (5) 30. II. 190—193. 569—591(1921)

[8]“无机盐工业”,(2),20~23(1979)。

[9]A. Д. 克山著、成思危译,“硼酸盐在水溶液中的合成及其研究”,191页,科学出版社(1962年)。

10.中华人民共和国,国家标准,“硼酸”GB538~65,北京(1965年)