



精细化工产品生产技术丛书

精细无机化学品 生产技术

韩长日 主编



科学出版社

精细化工产品生产技术丛书

精细无机化学品生产技术

韩长日 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍无机单质、氧化物、含氮化合物、含磷化合物、含硫化合物、含卤化合物、碳酸盐和其他精细无机化学品的生产技术信息,全面系统地介绍了各种精细无机化学品的产品性能、生产原理、工艺流程、技术配方、生产设备、生产工艺、产品标准、产品用途等,是一本内容丰富、资料翔实、技术实用、工艺具体的专业技术工具书。对促进我国精细无机化学品的技术发展、推动精细无机化学品技术进步、加快我国精细无机化学品的技术创新和提升精细无机化学品的国际竞争力都具有重要意义。

本书对从事精细化工产品特别是精细无机化学品研制开发的科技人员、生产人员,以及高等院校应用化学、精细化工等专业的师生具有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

精细无机化学品生产技术/韩长日主编. —北京:科学出版社,2014.6

(精细化工产品生产技术丛书)

ISBN 978-7-03-040815-5

I. ①精… II. ①韩… III. ①精细化工-无机化工-生产技术
IV. ①TQ110.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 113860 号

责任编辑:贾 超 / 责任校对:鲁 素 刘亚琦

责任印制:赵德静 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 6 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014 年 6 月第一次印刷 印张:33 1/4

字数:654 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

“精细化工产品生产技术丛书”是一系列有关精细化学品的技术性图书。它包括有机化学品、无机化学品和复配型化学品。按照精细化学品应用的对象,将以《颜料生产技术》《染料生产技术》《精细无机化学品生产技术》《药物生产技术》《精细有机中间体生产技术》《食品添加剂生产技术》《橡塑材料助剂生产技术》《皮革与造纸化学助剂生产技术》《纺织印染助剂生产技术》《电子工业用化学品生产技术》《农用化学品生产技术》《胶黏剂生产技术》《洗涤剂生产技术》和《涂料生产技术》等分册出版。对促进我国精细化工产品的技术发展、推动精细化工产品技术进步、加快我国精细化工产品的技术创新和提升精细化工产品的国际竞争力都具有重要意义。

本书为《精细无机化学品生产技术》分册,主要介绍无机单质、氧化物、含氮化合物、含磷化合物、含硫化合物、含卤化合物、碳酸盐和其他精细无机化学品的生产技术信息,全面系统地介绍了各种精细无机化学品的产品性能、生产原理、工艺流程、技术配方、生产设备、生产工艺、产品标准、质量检验、产品用途等,是一本内容丰富、资料翔实、实用性很强的技术操作工具书。本书在编写过程中,参阅和引用了大量国内外专利及技术资料,书末列出了一些参考文献,部分产品中还列出了相应的、原始的研究文献(截至2013年),以便读者进一步查阅。

应当强调的是,在进行精细无机化学品的开发生产时,应当遵循先小试,再中试,然后进行工业性试产的原则,以便掌握足够的生产经验和控制参数。同时,要特别注意生产过程中的防火、防爆、防毒、防腐以及生态环境保护等相关问题,并采取相应有效的防范措施,以确保安全顺利地生产。

本书由韩长日主编,参加本书编写的有刘艳玲、李高楠、宋鑫明、戴春燕。全书由宋小平教授审定。

本书的出版,得到了国家自然科学基金项目(21166009、81160391、21362009、81360478)、科学出版社、海南师范大学、上海工程技术大学和海南科技职业学院的资助和支持,在此,一并表示衷心感谢。

限于编者水平,疏漏和不妥之处,在所难免,恳请广大读者和同仁提出批评与建议。

韩长日

2014. 4. 16

目 录

第 1 章 单质	1
1.1 碘	1
1.2 红磷	4
1.3 硫黄	6
1.4 炭黑	10
1.5 硼	14
1.6 碲	16
1.7 硒	18
1.8 金	21
1.9 铂	22
1.10 银	26
1.11 铜	27
1.12 铅	30
1.13 铋	32
1.14 锡	35
1.15 锕	38
1.16 镓	40
1.17 铟	43
1.18 镍	48
1.19 铈	49
1.20 铝粉	52
1.21 高纯锌	54
1.22 高纯镉	57
第 2 章 氧化物	59
2.1 高纯二氧化硅	59
2.2 三氧化二硼	61
2.3 一氧化硅	62
2.4 二氧化碲	64
2.5 γ -三氧化二铁	65
2.6 改性 γ -Fe ₂ O ₃ 磁粉	69

2.7	磁性 α -氧化铁	71
2.8	四氧化三铁	73
2.9	针状四氧化三铁磁粉	74
2.10	氧化铁红	76
2.11	氧化铁黄	78
2.12	氧化铁黑	82
2.13	Co- γ -Fe ₂ O ₃ 磁粉	84
2.14	Co-Fe ₃ O ₄ 磁粉	85
2.15	氧化钴	87
2.16	超细四氧化三钴	90
2.17	氧化铬	92
2.18	二氧化铬磁粉	94
2.19	铬酸酐	96
2.20	氧化铬绿	99
2.21	一氧化铅	101
2.22	四氧化三铅	104
2.23	氧化锌	106
2.24	活性氧化锌	109
2.25	高纯氧化锌	113
2.26	氧化锌压敏陶瓷	115
2.27	三氧化二锑	117
2.28	高纯三氧化二锑	119
2.29	五氧化二锑	120
2.30	二氧化锑	123
2.31	氧化钙	124
2.32	氧化铋	126
2.33	三氧化二铝	128
2.34	高纯超细氧化铝	130
2.35	透明氧化铝陶瓷	132
2.36	氧化镁	134
2.37	磁性氧化镁	136
2.38	氧化镁铝瓷	139
2.39	三氧化钨	140
2.40	二氧化锡	142

第 3 章 含氮化合物	146
3.1 硝酸	146
3.2 硝酸铵	149
3.3 硝酸铝	153
3.4 硝酸锂	154
3.5 硝酸亚铊	155
3.6 硝酸钴	156
3.7 硝酸镍	157
3.8 硝酸亚汞	159
3.9 硝酸铋	160
3.10 硝酸铟.....	161
3.11 硝酸钠.....	165
3.12 硝酸铜.....	168
3.13 光谱纯硝酸铜.....	170
3.14 硝酸银.....	171
3.15 硝酸锌.....	175
3.16 硝酸镁.....	177
3.17 硝酸钙.....	179
3.18 硝酸钡.....	182
3.19 光谱纯硝酸钡.....	184
3.20 硝酸铅.....	185
3.21 高纯硝酸铅.....	187
3.22 硝酸锰.....	189
3.23 硝酸钾.....	190
3.24 氨水.....	193
3.25 氮化硼.....	196
3.26 氮化铁磁粉.....	198
3.27 氮化硼陶瓷.....	200
3.28 氮化铝陶瓷.....	202
第 4 章 含磷化合物	204
4.1 磷酸	204
4.2 磷酸钠	206
4.3 磷酸锌	208
4.4 磷酸三铵	210
4.5 磷酸二氢铵	211

4.6	磷酸二氢钾	213
4.7	磷酸氢二钠	215
4.8	磷酸二氢钠	216
4.9	磷酸银	218
4.10	聚磷酸铵.....	219
4.11	焦磷酸铜.....	222
4.12	六偏磷酸钠.....	224
第5章	含硫化化合物.....	227
5.1	硫酸	227
5.2	硫化氢	230
5.3	硫化锌	232
5.4	硫化汞	233
5.5	多硫化钡	237
5.6	多硫化钙	239
5.7	二硫化钼	240
5.8	硫酸高铈	242
5.9	硫酸铝	243
5.10	硫酸钡.....	246
5.11	硫酸锌.....	249
5.12	硫酸锰.....	255
5.13	硫酸镍.....	257
5.14	硫酸镁.....	259
5.15	硫酸铜.....	262
5.16	硫酸锆.....	265
5.17	硫酸氢铵.....	268
5.18	硫酸铬钾.....	269
5.19	硫酸镉.....	270
5.20	硫酸亚锡.....	272
5.21	碱式硫酸铬.....	274
5.22	焦亚硫酸钠.....	277
5.23	焦亚硫酸钾.....	281
5.24	连二亚硫酸钠.....	283
5.25	无水亚硫酸钠.....	285
第6章	含卤化合物.....	289
6.1	氟化钠	289

6.2	氟化镁	292
6.3	五氟化钽	294
6.4	六氟化钨	295
6.5	六氟化钼	297
6.6	氟化钙	298
6.7	氟硅酸钠	299
6.8	氯化氢	301
6.9	盐酸	303
6.10	三氯化磷	307
6.11	三氯氧磷	309
6.12	三氯化硼	311
6.13	二氯二氢硅	313
6.14	四氯化硅	316
6.15	四氯化硒	317
6.16	氯化钡	318
6.17	氯化铯	320
6.18	无水三氯化铁	321
6.19	氯化锂	323
6.20	氯化银	325
6.21	氯化铟	326
6.22	氯化铝	327
6.23	氯化钠	329
6.24	四氯化锗	330
6.25	四氯化锡	331
6.26	氯化镉	332
6.27	氯化锌	334
6.28	二氯化锡	337
6.29	氯化镍	340
6.30	氯化钴	343
6.31	氯化亚铜	345
6.32	氯化铜	349
6.33	氯化钾	351
6.34	二水氯化钙	356
6.35	无水氯化铝	359
6.36	氯酸钾	364

6.37	氯酸钠	369
6.38	氯酸钙	374
6.39	氯酸镁	375
6.40	氯酸钡	377
6.41	氯酸银	379
6.42	高氯酸钠	380
6.43	高氯酸钾	383
6.44	三溴化硼	385
6.45	溴化铵	387
6.46	溴化钾	389
6.47	溴化钠	392
6.48	溴化铯	394
6.49	溴化铜	395
6.50	溴化锂	396
6.51	溴化钡	400
6.52	溴化锌	402
6.53	溴化镉	403
6.54	溴化银	405
6.55	碘化锂	406
6.56	碘化钙	407
6.57	碘化铵	409
6.58	碘化钾	410
第7章	碳酸盐	414
7.1	高纯碳酸锶	414
7.2	无水碳酸钠	417
7.3	碳酸钡	419
7.4	碳酸锶	423
7.5	碳酸钙	427
7.6	光谱纯碳酸钙	430
7.7	碳酸钾	431
7.8	碳酸锰	434
7.9	碳酸锂	436
7.10	碳酸银	438
7.11	碳酸铅	439
7.12	碱式碳酸铜	440

第 8 章 其他精细无机化学品	443
8.1 光谱纯硼酸	443
8.2 十水四硼酸钠	445
8.3 改性偏硼酸钡	448
8.4 硼酸	451
8.5 硼酸锌	453
8.6 四氟硼酸铜	455
8.7 二氧化碳	457
8.8 电子级水	458
8.9 过氧化氢	460
8.10 二氧化氯	463
8.11 冰晶石	470
8.12 氟硅酸钠	473
8.13 氢氧化铝	474
8.14 氢氧化钴	478
8.15 氢氧化锂	479
8.16 高锰酸钠	480
8.17 钛酸钡	482
8.18 钛酸锶	489
8.19 锆钛酸铅	493
8.20 铁电陶瓷	494
8.21 针状铁磁粉	496
8.22 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$ 稀土永磁粉	497
8.23 锶铁氧体	499
8.24 永磁铁氧体	501
8.25 Sm_2FeN 磁粉	504
8.26 超电导晶须	505
8.27 超细 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	506
8.28 钡铁氧体	508
8.29 压电陶瓷	511
8.30 压电陶瓷材料	513
8.31 导电陶瓷	515
8.32 热敏陶瓷	517
8.33 晶界层电容器陶瓷	518
主要参考书目	519

第 1 章 单 质

1.1 碘

碘(Iodine)分子式 I_2 , 相对分子质量 253.81。

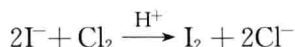
1. 产品性能

紫黑色鳞晶或片晶, 有金属光泽。相对密度 4.93, 熔点 113.5°C , 沸点 184.35°C 。性脆, 易升华, 蒸气呈紫色。碘对光的吸收带在可见光谱的中间部分, 故透射的光只是红色和紫色。碘微溶于水, 溶解度随温度升高而增加, 不形成水合物, 难溶于硫酸, 易溶于有机溶剂, 在不饱和烃、甲醇、乙醇、乙醚、丙酮、吡啶中呈褐色, 在苯、甲苯、二甲苯、溴化乙烷中呈褐红色, 在氯仿、石油醚、二硫化碳或四氯化碳中呈美丽的紫色。碘也易溶于氯化物、溴化物及其他盐溶液, 更易溶于碘化物溶液, 形成多碘离子。液碘是一种良好的溶剂, 可溶解硫、硒、铵和碱金属碘化物, 也可溶解铝、锡、钛等金属碘化物及许多有机化合物。碘具有特殊刺激性气味, 有毒。

2. 生产方法

碘的生产方法受原料的影响很大。以海藻为原料, 有浸出法、灰化法、干馏法、发酵法。除浸出法外, 其他各法多已淘汰。从海藻浸出液提取碘, 现均用离子交换法。从石油井水、地下卤水提取碘, 有离子交换法、空气吹出法、活性炭法、沉淀法(铜法和银法)、淀粉法及有机溶剂萃取法。目前工业生产主要采用离子交换法和空气吹出法。

(1) 离子交换法 系将料液(以海带为原料)经浸泡, 取浸泡液加酸, 通氯氧化, 在离子交换柱中吸附, 然后解吸, 碘析, 精制即得成品碘。



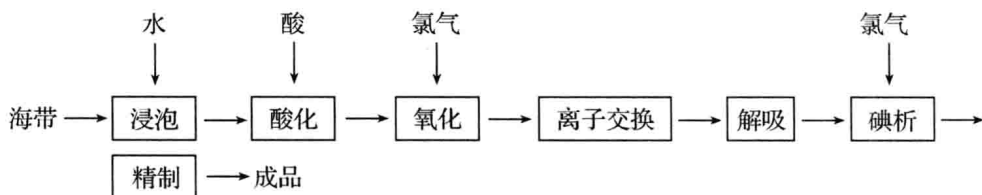
(2) 空气吹出法 系将料液酸化, 通入氯气, 使碘盐氧化游离, 同时吹入空气。将游离碘吹出。吹出的碘用二氧化硫吸收, 然后通氯使碘游离, 再经精制而得。

粗碘的精制 有升华法、熔融法和蒸汽蒸馏法。升华法是将粗碘加热, 在不高于 113.6°C 下, 使碘蒸气冷凝, 即得较大颗粒结晶碘。蒸汽蒸馏法是以过热水蒸气通过粗碘层, 使碘升华, 冷凝收集于 50°C 以下的水中, 然后冷却结晶, 过滤而得纯

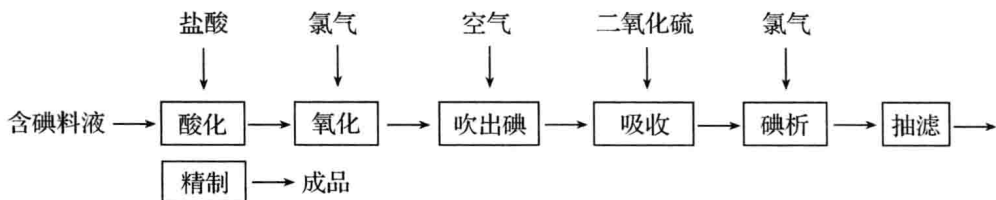
碘。熔融法是将粗碘在浓硫酸中熔融,冷却结晶,即得精碘。此法耗酸较多,但简单易行。

3. 工艺流程

(1) 离子交换法



(2) 空气吹出法



4. 技术配方

(1) 离子交换法

海带	311000
液氯(99%)	1020
焦亚硫酸钠($\geq 61\%$)	700
亚硝酸钠	240
硫酸(98%)	16000
氯酸钾	170

(2) 空气吹出法

含碘料液(制盐母液)	3680
液氯($\geq 99\%$)	2250
二氧化硫(SO_2 , 99%)	640
硫酸	22070

5. 生产工艺

(1) 离子交换法 将海带加 13~15 倍量的水浸泡,一遍浸泡水含碘量在 0.3g/L 以上,如浸泡两遍,则可达 0.5~0.55g/L。浸泡水由于含有大量褐藻糖胶

和其他杂质,影响关联产品甘露醇的提取,故需加碱除去。碱液含量为 36% ~ 40%。加碱后充分搅拌,使 pH 为 12,澄清 8h 以上。上部清液用泵打入酸化槽,加酸酸化,控制 pH 为 1.5~2。沉渣再次加温澄清后,上部清液仍泵入酸化槽内,废渣可加酸及氧化剂氧化,通入专柱吸附提碘。上清液酸化后,送入氧化罐,通入氯气或次氯酸钠,氧化使碘游离。氯酸钠处理液经酸化后,加氧化剂,使所含碘沉淀后回收,通过交换柱的废碘水则用以提取甘露醇。

(2) 空气吹出法 在含碘料液中加入盐酸酸化,控制 pH 在 1~2。然后送入预热器,预热至 40℃左右,再通过高位槽进入氧化器,同时通入适量氯气,使料液中的碘离子氧化为碘分子。当氧化电位达到 520~530mV(饱和甘汞电极)时,氧化率为 95%。将此氧化液送入吹出塔,从上部均匀淋下,从吹出塔下部鼓入已预热至 40℃的空气,将碘吹出,含碘空气自下部进入填充式吸收塔,空气中的碘被由塔上部喷淋下来的二氧化硫水溶液吸收,并被还原,生成氢碘酸溶液(吸收液)。吸收液用泵打入吸收塔内,循环吸收多次,以提高所含碘化氢的浓度。当吸收液含碘约 150g/L 时,即送入碘析器。在不断搅动下,徐徐通入氯气,使碘游离沉淀。再经过滤器用真空泵抽滤,所得粗碘加浓硫酸熔融精制,冷却结晶,即得成品碘。粉碎后,分装于棕色玻璃瓶中,或装入内衬塑料袋的木桶中,密封入库。

6. 产品标准(药用级,%)

碘(I ₂)	≥99.5
氯化物及溴化物(Cl ⁻)	≤0.028
不挥发物	≤0.08
硫酸盐(SO ₄ ²⁻)	≤0.04
有机物	无

7. 产品用途

用作照相感光乳剂,也用于制造电子仪器的单晶棱镜、光学仪器的偏光镜、透过红外线的玻璃。碘是制造无机和有机碘化物的基本原料,主要用于医药卫生方面,用以制造各种碘制剂、杀菌剂、消毒剂、脱臭剂、镇痛剂、放射性物质的解毒剂;碘化物也被用作饮水净化剂、游泳池消毒剂。在农业上,碘是制造农药的原料,亦是家畜饲料添加剂。在工业上,用于生产合成染料、烟雾灭火剂、切削油乳剂的抑菌剂。

8. 参考文献

- [1] 苏芳,顾明广,冯献起,等. 碘制备方法进展[J]. 化学工程与装备,2013,02:155-157.
- [2] 王景刚,冯丽娟,相湛昌,等. 碘提取方法的研究进展[J]. 无机盐工业,2008,11:11-14.
- [3] 段燕芳,薛永强,邹佩良,等. 高聚碘的制备、测定及应用[J]. 当代化工,2007,03:329-332.

[4] 王彤. 液膜技术提取碘的研究[J]. 化学通报, 1995, 01: 28-30.

1.2 红 磷

红磷(Phosphorus)元素符号 P, 相对原子质量 30.973762。稳定的同位素 31。又称赤磷。

1. 产品性能

深红色结晶形粉末, 不具毒性, 不溶于水和乙醇, 也不溶于 CS_2 和有机溶剂中(区别于黄磷)。相对密度 2.20。加热至 200°C 以上着火, 于 416°C 升华。熔点 590°C ($4.3 \times 10^6 \text{ Pa}$)。

2. 生产方法

(1) 三氯化磷还原法 三氯化磷经蒸馏提纯后用氢还原, 得高纯红磷。

(2) 直接蒸馏法 工业磷经两次蒸馏可得 99.999% 的高纯磷。

(3) 区域熔炼法 磷经三次区域熔炼行程后, 可得无机杂质总量少于 $1 \times 10^{-5}\%$ 、有机杂质总量少于 $1 \times 10^{-5}\%$ 的高纯磷。用区域熔炼提纯法可大量制取高纯磷, 而设备费用很低。

3. 工艺流程

(1) 三氯化磷还原法



(2) 直接蒸馏法



4. 生产工艺

(1) 三氯化磷还原法 由于三氯化砷与三氯化磷的蒸气压较接近, 因此在分离时要选择适当的分离条件和蒸馏设备。

所用的平衡器是一填料或玻璃蒸馏柱, 直径 20mm, 填料为直径 3~4mm 的玻璃球, 充填高度 750mm。分馏头以计时继电器控制电磁开关启闭。填料层上部馏出口均有流量计量装置。精馏柱用真空夹套绝热, 夹套内壁镀银。精馏柱下部的

蒸馏瓶容量为 1000mL,以电炉加热。

三氯化磷的精馏提纯是在上述填料式精馏柱中进行的,用分析纯试剂作原料。蒸馏液分三部分收集。根据 $\text{PCl}_3\text{-AsCl}_3$ 系的实际分离能力和原料中杂质含量选用下列比例:第一部分取总蒸馏液的 15%,第二部分取总蒸馏液的 60%,余下残液为总蒸馏液的 25%。馏出速度为 0.17mL/min。回流比为 1~28。

每次精馏加入料液 750mL 于蒸馏瓶中,加热至沸,随后降低加热电流使其保持最大回流量,经全回流 2h 后开始按规定速度馏出。

必要时,将第一次得到的三氯化磷再精馏一次。

三氯化磷的氢还原是在一垂直放置的透明石英管中进行的。石英管直径 25mm,外面用电阻炉加热,加热区分上下两段,均长 350mm。

钢瓶氢气经过焦性没食子酸→铂石棉(400℃)→固体氢氧化钾提纯。提纯后的氢气分两路经过流量计进入反应管:一路通入三氯化磷贮存器把三氯化磷气体带入反应管;另一路直接进入反应管。操作开始前先通氢驱除系统中的空气,随后将反应管加热至所需温度,通入三氯化磷和氢气的混合气体。反应后的废气通过一鼓泡器排出。生成的磷沿管壁滴入收集器,部分未及冷凝的磷蒸气在随废气通过收集器时冷凝下来。当磷沿管壁滴下的过程中,有少量在反应管末端部位转化成赤磷黏附于管壁上。

还原是以一次精馏的第二部分馏分,分别在 400℃(上、下段均为 400℃)、600℃(上、下段均为 600℃)、800℃(上端 800℃,下段 500℃)下进行通氢还原。在 400℃时,可以观察到反应在进行,但速度很慢,仅在反应管末端析出很薄的一层沉积物。在 600℃时,反应速度仍然比较慢,得到的产物也不多。在 800℃时,当 H_2/PCl_3 分子比为接近 3.5 时,磷的析出速度为 3~4g/h。回收率为 90%~95%。

为了便于贮存或满足使用上的需要,可以将获得的白磷转化为赤磷。只要将白磷转移到另一玻璃管中,抽真空封闭后逐步加热至 300~350℃,约经过一周即全部转化为赤磷。

(2) 直接蒸馏法 将 5kg 99%的工业磷,放入 10L 的蒸馏烧瓶中,移至沙浴上,装上分馏器,接好冷凝管,用密封式电炉进行加热,并用调压变压器来控制温度,升温要缓慢,待磷全部熔化为液体时,将温度升高 300℃,开始蒸馏。操作应在通风橱内进行。先将初馏液 200mL 另放,作下次原料;中段馏液 4kg 作为中间品(半成品);残留液 800mL,可作原料,但只能反复利用三次,否则要影响产品质量。以上操作为第一次蒸馏。

将上述得到的 4kg 半成品,完全按照上述同样的操作重复蒸馏一次,经过两次蒸馏后的磷约为 3kg。经化学及仪器分析后,纯度达 99.999%。由于白磷的贮藏和保管不如赤磷安全,所以必须将白磷转化为赤磷,其操作的方法如下:将 3kg 高纯磷,装进硬质的玻璃管中,移至管式电炉内,在通氮保护下进行加热,温度控制

在 300~350℃, 保持数小时后, 进行冷却, 即得高纯赤磷。

说明: ① 直接蒸馏法是大量生产高纯磷的好方法, 由于蒸馏设备还不够精密, 其最高纯度只能达到 99.999%, 如多次蒸馏也无显著的提高。

② 用直接蒸馏法所得的高纯磷, 如再转化为三氯化磷, 然后还原制备元素磷, 其纯度可达 99.9999%。区域熔炼法也能达到同样效果。

5. 产品标准(高纯磷)

含量(P)	$\geq 99.999\%$	$\geq 99.99\%$
杂质最高含量(%):		
铝(Al)	$\leq 5 \times 10^{-5}$	$\leq 5 \times 10^{-4}$
镁(Mg)	$\leq 6 \times 10^{-5}$	$\leq 1 \times 10^{-4}$
铬(Cr)	$\leq 2 \times 10^{-5}$	$\leq 5 \times 10^{-4}$
锰(Mn)	$\leq 6 \times 10^{-6}$	$\leq 5 \times 10^{-5}$
铁(Fe)	$\leq 1 \times 10^{-4}$	$\leq 1 \times 10^{-3}$
钴(Co)	$\leq 2 \times 10^{-5}$	$\leq 5 \times 10^{-5}$
镍(Ni)	$\leq 6 \times 10^{-6}$	$\leq 1 \times 10^{-4}$
铜(Cu)	$\leq 1 \times 10^{-5}$	$\leq 5 \times 10^{-5}$
银(Ag)	$\leq 6 \times 10^{-6}$	$\leq 5 \times 10^{-5}$
锡(Sn)	$\leq 6 \times 10^{-6}$	$\leq 6 \times 10^{-5}$
金(Au)	$\leq 6 \times 10^{-6}$	$\leq 6 \times 10^{-5}$
铅(Pb)	$\leq 1 \times 10^{-6}$	$\leq 5 \times 10^{-5}$
铋(Bi)	$\leq 6 \times 10^{-6}$	$\leq 6 \times 10^{-5}$

6. 产品用途

在电子工业中, 高纯磷用于半导体生产的扩散、掺杂工艺。

7. 参考文献

- [1] 李玉荣, 李立, 范辰东. 包覆红磷的研制和应用[J]. 现代化工, 1997, 02: 19-20.
 [2] 李玉荣, 陈永红, 王凤武, 等. 包覆红磷的生产及其应用[J]. 安徽化工, 1997, 03: 5-7.

1.3 硫 黄

硫黄(Sulfur)有 α -硫(斜方硫)、 β -硫(单斜硫)和 γ -硫(无定形硫)。分子式 S_8 , 相对分子质量 256.512。