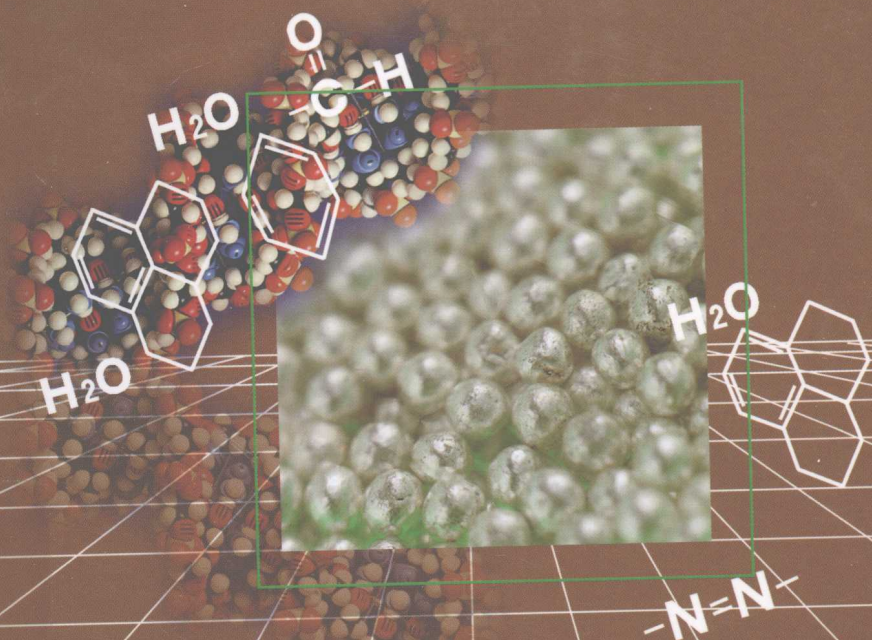


精细化工品实用生产技术手册

精细无机化学品 制造技术

JING XI WU JI HUA XUE PIN ZHI ZAO JI SHU

韩长日 宋小平 [主 编]

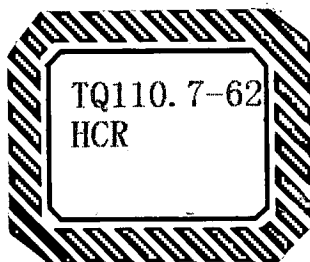


科学技术文献出版社

精细化工品实用生产技术手册

精细无机化学品 制造技术

主 编 韩长日 宋小平



科学技术文献出版社

Scientific and Technical Documents Publishing House

北 京

(京) 新登字 130 号

内 容 简 介

本书介绍了 30 种单质、56 种氧化物、28 种含氮化合物、14 种含磷化合物、32 种含硫化合物、78 种含卤化合物、14 种碳酸盐和 83 种其他精细无机化学品的制造技术。对每个品种的产品性能、生产方法、生产配方、生产流程、生产工艺、产品标准、产品用途都作了全面系统的阐述。是一本内容丰富、资料翔实、实用性很强的技术操作工具书。

本书对从事精细化工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都具有参考价值。

科学技术文献出版社是国家科学技术部系统唯一一家中央级综合性科技出版机构,我们所有的努力都是为了使您增长知识和才干。

前言

《精细化工品实用生产技术手册》是一部有关精细化学品的技术性系列丛书。它包括有机化学品、无机化学品和复配型化学品，按照印染与橡塑助剂、日用化工品、涂料、药物、农药、香料与食品添加剂、染料、颜料与色料、电子与信息化学品、胶粘剂、精细有机中间体、皮革纺织及造纸化学品、表面活性剂处理剂及润滑剂、建筑用化学品、洗涤剂、化妆品、精细无机化学品等分册出版。

本书为精细无机化学品分册，本书介绍了 30 种单质、56 种氧化物、28 种含氮化合物、14 种含磷化合物、32 种含硫化合物、78 种含卤化合物、14 种碳酸盐和 83 种其他精细无机化学品的制造技术。对每个品种的产品性能、生产方法、生产配方、生产流程、生产工艺、产品标准、产品用途都作了全面系统的阐述。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，书末列出了一些主要参考文献，部分产品中还列出了相应的原始的研究文献，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、宋小平主编,参加本书编写的有韩长日、宋小平、张胜民、张华、赵琳静。

本书的出版,得到了国家自然科学基金项目(20562004)、上海市重点学科建设项目(P1402)、科学技术文献出版社、海南师范大学和上海工程技术大学的资助和支持,陈家显对全书的组稿进行了精心策划,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。

编 者

目 录

第1章 单 质	(1)	1.20 铅	(54)
1.1 氢气	(1)	1.21 铋	(56)
1.2 氮气	(3)	1.22 锡	(59)
1.3 氧气	(5)	1.23 锗	(63)
1.4 氦气	(7)	1.24 镓	(65)
1.5 氩气	(9)	1.25 铟	(68)
1.6 氯气	(11)	1.26 镍	(74)
1.7 溴	(13)	1.27 铈	(75)
1.8 碘	(18)	1.28 高纯锌	(79)
1.9 红磷	(21)	1.29 高纯镉	(82)
1.10 硫磺	(24)	1.30 铝粉	(83)
1.11 砷	(28)	第2章 氧化物	(85)
1.12 炭黑	(32)	2.1 一氧化硅	(85)
1.13 硼	(37)	2.2 高纯二氧化硅	(87)
1.14 碲	(39)	2.3 三氧化二硼	(89)
1.15 硒	(42)	2.4 二氧化碲	(90)
1.16 金	(44)	2.5 γ -三氧化二铁	(91)
1.17 铂	(46)	2.6 改性 γ -Fe ₂ O ₃ 磁粉	(95)
1.18 银	(50)	2.7 磁性 α -氧化铁	(97)
1.19 铜	(52)	2.8 四氧化三铁	(98)

2.9 针状四氧化三铁磁粉 (99)	2.39 三氧化钨 (165)
2.10 氧化铁红 (102)	2.40 二氧化锡 (166)
2.11 氧化铁黄 (104)	2.41 氧化银 (169)
2.12 氧化铁黑 (108)	2.42 氧化铍 (171)
2.13 $\text{Co-}\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 磁粉 ... (110)	2.43 氧化钇 (172)
2.14 $\text{Co-Fe}_3\text{O}_4$ 磁粉 (111)	2.44 二氧化钛 (177)
2.15 氧化钴 (113)	2.45 钛白 (186)
2.16 超细四氧化三钴 ... (116)	2.46 氧化铕 (192)
2.17 氧化铬 (117)	2.47 氧化镓 (195)
2.18 二氧化铬磁粉 (120)	2.48 氧化铟 (196)
2.19 铬酸酐 (122)	2.49 三氧化二镍 (198)
2.20 氧化铬绿 (125)	2.50 氧化镱 (201)
2.21 一氧化铅 (127)	2.51 镍锌铁氧体 (202)
2.22 四氧化三铅 (130)	2.52 氧化镧 (204)
2.23 氧化锌 (133)	2.53 二氧化锆 (207)
2.24 活性氧化锌 (137)	2.54 氧化锆陶瓷 (209)
2.25 高纯氧化锌 (140)	2.55 氧化锆导电陶瓷 ... (211)
2.26 氧化锌压敏陶瓷 ... (143)	2.56 氧化镉 (213)
2.27 三氧化二锑 (144)	第3章 含氮化合物 (215)
2.28 高纯三氧化二锑 ... (146)	3.1 硝酸 (215)
2.29 五氧化二锑 (147)	3.2 硝酸铵 (219)
2.30 二氧化锑 (150)	3.3 硝酸铝 (223)
2.31 氧化钙 (151)	3.4 硝酸锂 (224)
2.32 氧化铋 (152)	3.5 硝酸亚铊 (225)
2.33 三氧化二铝 (154)	3.6 硝酸钴 (226)
2.34 高纯超细氧化铝 ... (156)	3.7 硝酸镍 (227)
2.35 透明氧化铝陶瓷 ... (158)	3.8 硝酸亚汞 (228)
2.36 氧化镁 (159)	3.9 硝酸铋 (229)
2.37 磁性氧化镁 (161)	3.10 硝酸铈 (230)
2.38 氧化镁铝瓷 (163)	3.11 硝酸钠 (233)
	3.12 硝酸铜 (236)

3.13 光谱纯硝酸铜	(238)	第 5 章 含硫化合物	(293)
3.14 硝酸银	(239)	5.1 硫化氢	(293)
3.15 硝酸锌	(243)	5.2 硫化锌	(295)
3.16 硝酸镁	(245)	5.3 硫化汞	(296)
3.17 硝酸钙	(247)	5.4 多硫化钡	(301)
3.18 硝酸钡	(250)	5.5 多硫化钙	(302)
3.19 光谱纯硝酸钡	(252)	5.6 二硫化铝	(303)
3.20 硝酸铅	(253)	5.7 硫酸	(304)
3.21 高纯硝酸铅	(255)	5.8 硫酸高铋	(308)
3.22 硝酸锰	(256)	5.9 硫酸铝	(309)
3.23 硝酸钾	(258)	5.10 硫酸钡	(313)
3.24 氨水	(260)	5.11 硫酸锌	(316)
3.25 氮化硼	(263)	5.12 硫酸锰	(322)
3.26 氮化硼陶瓷	(266)	5.13 硫酸镍	(323)
3.27 氮化铝陶瓷	(268)	5.14 硫酸镁	(325)
3.28 氮化铁磁粉	(269)	5.15 硫酸铜	(328)
第 4 章 含磷化合物	(272)	5.16 硫酸锆	(331)
4.1 磷酸	(272)	5.17 硫酸氢铵	(334)
4.2 磷酸钠	(274)	5.18 硫酸铬钾	(335)
4.3 磷酸锌	(275)	5.19 硫酸镉	(336)
4.4 磷酸三铵	(277)	5.20 硫酸亚锡	(337)
4.5 磷酸二氢铵	(278)	5.21 碱式硫酸铬	(340)
4.6 磷酸二氢钾	(279)	5.22 焦亚硫酸钠	(343)
4.7 磷酸氢二钠	(281)	5.23 焦亚硫酸钾	(346)
4.8 磷酸二氢钠	(282)	5.24 连二亚硫酸钠	(348)
4.9 磷酸银	(283)	5.25 无水亚硫酸钠	(350)
4.10 焦磷酸铜	(284)	5.26 硫代硫酸钠	(352)
4.11 六偏磷酸钠	(286)	5.27 硫代硫酸铵	(354)
4.12 聚磷酸铵	(288)	5.28 过硫酸钾	(356)
4.13 磷化铝	(291)	5.29 过硫酸铵	(358)
4.14 磷化锌	(291)	5.30 立德粉	(360)

5.31 钙铝白	(363)	6.29 氯化银	(420)
5.32 镉黄	(364)	6.30 氯化铟	(421)
第6章 含卤化合物	(368)	6.31 氯化铝	(422)
6.1 氢氟酸	(368)	6.32 三氯化铋	(423)
6.2 三氟化硼	(371)	6.33 氯化钠	(424)
6.3 三氟化磷	(373)	6.34 四氯化锗	(426)
6.4 三氟化砷	(374)	6.35 四氯化锡	(426)
6.5 六氟化硫	(375)	6.36 氯化镉	(428)
6.6 氟化铵	(376)	6.37 氯化锌	(429)
6.7 氟化氢铵	(379)	6.38 二氯化锡	(432)
6.8 氟化钠	(382)	6.39 氯化镍	(436)
6.9 氟化镁	(385)	6.40 氯化钴	(438)
6.10 五氟化钽	(387)	6.41 氯化亚铜	(440)
6.11 六氟化钨	(388)	6.42 氯化铜	(445)
6.12 六氟化钼	(389)	6.43 氯化汞	(446)
6.13 氟化钙	(390)	6.44 氯化钾	(448)
6.14 氟化铯	(391)	6.45 二水氯化钙	(453)
6.15 氟化稀土	(392)	6.46 无水氯化铝	(456)
6.16 氟硅酸钠	(395)	6.47 碱式氯化铝	(461)
6.17 氯化氢	(397)	6.48 次氯酸锂	(464)
6.18 盐酸	(398)	6.49 次氯酸镁	(467)
6.19 三氯化磷	(403)	6.50 次氯酸钙	(467)
6.20 三氯氧磷	(405)	6.51 亚氯酸钠	(469)
6.21 三氯化硼	(407)	6.52 氯酸钾	(477)
6.22 二氯二氢硅	(409)	6.53 氯酸钠	(483)
6.23 四氯化硅	(412)	6.54 氯酸钙	(489)
6.24 四氯化硒	(413)	6.55 氯酸镁	(490)
6.25 氯化钡	(414)	6.56 氯酸钡	(492)
6.26 氯化铯	(416)	6.57 氯酸银	(494)
6.27 无水三氯化铁	(417)	6.58 高氯酸钠	(495)
6.28 氯化锂	(418)	6.59 高氯酸钾	(499)

6.60	三溴化硼	(501)	7.12	碱性碳酸铝	(557)
6.61	溴化铵	(503)	7.13	碱式碳酸镁	(558)
6.62	溴化钾	(505)	7.14	碱式碳酸铜	(561)
6.63	溴化钠	(507)	第 8 章 其他精细无机		
6.64	溴化铯	(510)	化学品		
6.65	溴化铜	(511)	8.1	硼酸	(563)
6.66	溴化锂	(512)	8.2	光谱纯硼酸	(565)
6.67	溴化钡	(516)	8.3	十水四硼酸钠	(567)
6.68	溴化锌	(517)	8.4	改性偏硼酸钡	(570)
6.69	溴化镉	(518)	8.5	硼酸锌	(573)
6.70	溴化银	(519)	8.6	四氟硼酸铜	(576)
6.71	碘化锂	(520)	8.7	二氧化碳	(577)
6.72	碘化汞	(521)	8.8	电子级水	(578)
6.73	溴化钙	(522)	8.9	过氧化氢	(580)
6.74	碘化铵	(524)	8.10	二氧化氯	(583)
6.75	碘化银	(525)	8.11	亚砷酸钠	(592)
6.76	碘化铋	(527)	8.12	砷酸钴	(593)
6.77	碘化钾	(528)	8.13	砷酸钙	(594)
6.78	碘化镉	(530)	8.14	砷酸铅	(596)
第 7 章 碳酸盐			8.15	亚硒酸钠	(597)
7.1	无水碳酸钠	(532)	8.16	冰晶石	(598)
7.2	碳酸钡	(534)	8.17	氟硅酸钠	(601)
7.3	碳酸锶	(537)	8.18	硫氰酸钠	(602)
7.4	高纯碳酸锶	(541)	8.19	氯氧化铜	(604)
7.5	碳酸钙	(545)	8.20	氰化亚铜	(605)
7.6	光谱纯碳酸钙	(547)	8.21	氰化钙	(607)
7.7	碳酸钾	(549)	8.22	钴蓝	(608)
7.8	碳酸锰	(551)	8.23	氢氧化铝	(611)
7.9	碳酸锂	(553)	8.24	氢氧化钴	(614)
7.10	碳酸银	(555)	8.25	氢氧化铬	(615)
7.11	碳酸铅	(556)	8.26	氢氧化锂	(616)

- | | |
|--|---|
| 8.27 碲化铅 (617) | 8.56 硫氰酸钡 (679) |
| 8.28 高锰酸钠 (618) | 8.57 铁氰化钾 (680) |
| 8.29 钛酸铅 (620) | 8.58 碱式硅铬酸铅 (682) |
| 8.30 钛酸钡 (622) | 8.59 镉红 (684) |
| 8.31 钛酸锶 (630) | 8.60 铁蓝 (686) |
| 8.32 锆钛酸铅 (633) | 8.61 铜金粉 (690) |
| 8.33 铁电陶瓷 (634) | 8.62 群青 (693) |
| 8.34 钼酸锂 (635) | 8.63 铅铬绿 (697) |
| 8.35 钼铬红 (636) | 8.64 钨酸钴 (698) |
| 8.36 锡酸钠 (639) | 8.65 超电导晶须 (699) |
| 8.37 重铬酸钠 (641) | 8.66 超细 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (699) |
| 8.38 重铬酸钾 (644) | 8.67 钒铁氧体 (701) |
| 8.39 重铬酸铵 (646) | 8.68 G11 荧光粉 (704) |
| 8.40 中铬黄 (648) | 8.69 G23 荧光粉 (705) |
| 8.41 铬酸铅 (649) | 8.70 Y1 荧光粉 (707) |
| 8.42 钙铬黄 (651) | 8.71 Y3 荧光粉 (707) |
| 8.43 钡铬黄 (653) | 8.72 Y4-Y2 荧光粉 (708) |
| 8.44 锌铬黄 (655) | 8.73 Y10 荧光粉 (710) |
| 8.45 铅铬黄 (660) | 8.74 Y14 荧光粉 (711) |
| 8.46 锆铬黄 (663) | 8.75 Y20 荧光粉 (712) |
| 8.47 硅酸钾钠 (665) | 8.76 Y4-B1 荧光粉 (713) |
| 8.48 铈酸钠 (666) | 8.77 滑石瓷 (714) |
| 8.49 针状铁磁粉 (669) | 8.78 镁橄榄石瓷 (716) |
| 8.50 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$ 稀土
永磁粉 (671) | 8.79 晶界层电容器
陶瓷 (718) |
| 8.51 Co-Ti 钒铁氧体 (673) | 8.80 压电陶瓷 (719) |
| 8.52 锆铁氧体 (674) | 8.81 压电陶瓷材料 (721) |
| 8.53 永磁铁氧体 (676) | 8.82 导电陶瓷 (723) |
| 8.54 Sm_2FeN 磁粉 (678) | 8.83 热敏陶瓷 (724) |
| 8.55 钒酸钠 (679) | 参考文献 (725) |

第 1 章 单 质

1.1 氢气

氢气分子式 H_2 ，相对分子质量 2.016。

【产品性能】 为无色、无臭、无毒、无腐蚀的可燃气体。氢无毒，但不能维持生命，它是一种窒息剂。

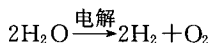
氢分子由两种同分异构体组成，即正氢和仲氢组成。在常温下，正仲氢比例为 75 : 25。随着温度降低，仲氢比例提高，伴随着放出转化热。20.4 K 时平衡组成为 0.2 : 99.8。

正氢气体密度 1.331 kg/m^3 (-252.8°C , 101.3 kPa)，液体密度 70.96 kg/m^3 (-252.8°C , 101.3 kPa)。气体相对密度(空气=1) 0.069 960 (0°C , 101.3 kPa)。沸点 252.8°C ，熔点 -259.2°C 。临界温度 239.96°C ，临界压力 1315 kPa ，临界密度 30.12 kg/m^3 ，三相点 -259.2°C (7.20 kPa)。在空气中的可燃限 4.0% ~ 75.0%(体积)。自燃温度 571.2°C 。

仲氢 沸点 -252.9°C ，熔点 -259.3°C 。临界温度 -240.17°C ，临界压力 1293 kPa ，临界密度 31.43 kg/m^3 ，三相点 -259.3°C (7.042 kPa)。气体密度 1.338 kg/m^3 (-252.9°C , 101.3 kPa)。液体密度 70.78 kg/m^3 (-252.9°C , 101.3 kPa)。

在常温下常压下，氢无腐蚀性，但在高温高压下，氢气可引起某些钢种的脆裂。

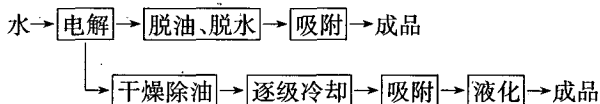
【生产方法】 (1) 电解水制备氢气，经低温吸附法，或低温液化法，或金属氢化物吸氢净化法制得高纯氢。



以电解氢为原料,还可采用变压吸附法、中空纤维膜扩散法或钯膜扩散法制得纯氢。

(2)以工业氢(99%)为原料氢,经减压进入低压干燥器除去油污及少量水分后,进入除氧炉脱氧,经冷却除去反应生成水,升压进入中压干燥器进一步除水后,送入中压纯化器吸附脱除各种杂质,再经膜压机加压后,送入高压纯化器进一步净化管路系统杂质获得高纯氢。

【生产流程】



【生产工艺】 以电解氢或其他工业氢气为原料,可采取下列方法纯化:

(1)低温吸附法 以工业含氢尾气或电解氢作为原料,经脱油、脱水、脱高沸点组分,然后在液氢温度下采用活性炭或分子筛吸附脱除氮、氧、氩等低沸点杂质,两台吸附器交换使用,以实现连续操作,可制取 99.9999% 氢。

(2)低温液化法 氢经干燥除油后,逐级冷却到液氮温度,吸附纯化,采用膨胀机制冷或高压节流膨胀制冷,将部分氢气液化。液氢纯度通常高于 99.999%。

(3)金属氢化物吸氢净化法 以电解氢为原料,经干燥脱水,预净化到 99.99%,进入贮氢合金筒中,利用贮氢合金筒在低温下吸氢,高温(98℃)下放氢的特性,可制取纯度达 99.9999% 的超纯氢。

【产品标准】 (GB 7445—87)

指标名称	超纯氢	高纯氢	纯氢
氢(H ₂ , %)	≥99.9999	99.999	99.99
一氧化碳(CO, 10 ⁻⁶)	<0.1	1	5

二氧化碳(CO_2 , 10^{-6})	<0.1	1	5
氮(N_2 , 10^{-6})	<0.4	5	60
水(H_2O , 10^{-6})	<1.0	3	30
氧(O_2 , 10^{-6})	<0.2	1	5
甲烷(CH_4 , 10^{-6})	<0.2	1	10

注:含量系指体积比。国标中“超纯氢”“高纯氢”的氧含量系指氧和氩的总量;“超纯氢”系指管道氢,不包括钢瓶装氢。

【产品用途】 高纯氢主要用于大规模和超大规模集成电路制造中提供还原气氛。是配制 SiH_4/H_2 、 PH_3/H_2 、 $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$ 等混合掺杂气的底气。也用于真空材料和器件生产中。

【安全与贮运】 氢气可燃易爆!是一种窒息性气体。氢气具有可燃易爆性。处理和使用时应做到:绝不能在有火焰、过热或有火花区域使用氢气瓶;只能使用防爆设备和不打火的工具;绝不能用明火检查氢气是否泄漏,只能用皂液。氢无腐蚀性,在常温下可装在按承受所需工作压力而设计的任何普通金属容器内。适用于装液态氢的容器金属包括:奥氏体镍铬钢、铜、铜硅合金、铅、蒙乃尔合金、黄铜和青铜。包装标志:易燃气体。不能与含氧、其他强氧化性或可燃物气瓶一起贮存。应遵守有关压缩可燃气体的安全规定。

1.2 氮气

氮气分子式 N_2 , 相对分子质量 28.01。

【产品性能】 在常温常压下是无色、无味、无臭、无毒的气体。是窒息性气体。在常压至 -195.8°C 即变成无色透明、易于流动的液体。在 -210.1°C 时即凝固成雪状固体。氮在空气在不燃烧, 常温下呈惰性。可与一些特别活泼的金属如 Li 、 Mg 形成氮化物。

是热和电的不良导体。低温液氮不带磁性。微溶于水、乙醇和醚。水中溶解度为 $2.35\text{ mL}/100\text{ mL H}_2\text{O}$ 。在 0°C 、 0.1 MPa 时沸点 81.8 K 。液体密度(-195.8°C , 101.325 kPa) 808.14 kg/m^3 。

气体密度 (-195.8°C , 101.325 kPa) 4.60 kg/m^3 。临界温度 -146.9°C 。临界压力 3400 kPa 。临界密度 311 kg/m^3 。折射率 (液体 77.12 K , 101.325 kPa) 1.19844 。

【生产方法】 以空分装置生产的普通氮为原料气,通过化学法及吸附干燥法净化得高纯氮气。也可以将空气液化后进行精馏,制取高纯氮气。

【生产流程】



【生产工艺】 将空分装置生产的普通氮气于 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ 下初除氧,经膜压机压缩后再进一步除氧,再经 5Å 分子筛吸附脱水后充瓶,得高纯氮气。也可使用变压吸附法、膜分离法制取纯氮和高纯氮。

【产品标准】 (GB 8980—88)

指标名称	优级品	一级品	合格品
氮(N_2 , %)	≥ 99.9996	99.9993	99.999
氧(O_2 , 10^{-6})	≤ 1.0	2.0	3.0
水(H_2O , 10^{-6})	≤ 1.0	2.6	5.0
氢(H_2 , 10^{-6})	≤ 0.5	1.0	1.0
二氧化碳(CO_2 , 10^{-6})	≤ 1.0	2.0	3.0
甲烷(CH_4 , 10^{-6})	≤ 1.0	2.0	3.0
一氧化碳(CO , 10^{-6})	≤ 1.0	2.0	3.0

注:国标中氮纯度中包含微量惰性气体氦、氖、氩。液态氮不规定水含量。

【产品用途】 主要用于半导体器件和彩色显像管的生产中。在集成电路、半导体和电真空器件制造中用作保护气和运载气。也用作化学气相淀积时的载气。作为液体扩散源的携带气(或气体扩散源的稀释气),在室温扩散炉中用作器件的保护气。高纯氮还在外延、光刻、清洗和蒸发等工序中,作为置换、干燥、贮存和输送用气体。还用于石油、化工及氮分子激光器的生产。

且可作分析仪器载气,如标准气、校正气、平衡气及在线仪表标准气等。

【安全与贮运】 氮气无毒、不可燃。但是一种窒息性气体。氮气可以贮存在按贮存压力设计的任何普通金属结构容器里。适用于液氮的金属包括 18-8 不锈钢、奥氏体铬镍合金、铜、黄铜、蒙乃尔合金和铝。

1.3 氧气

氧气分子式 O_2 , 相对分子质量 32.00。

【产品性能】 常温下为无色、无臭、无味气体。在常压下冷至 $-182.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时即成天蓝色透明、易流动的液体。冷至 $-218.78\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时生成蓝色结晶。沸点 $-182.96\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。熔点 $-218.78\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。临界温度 $-118.57\text{ }^{\circ}\text{C}$, 临界密度压力 5043 kPa, 临界密度 436.1 kg/m^3 。三相点为 $-218.78(0.1480\text{ kPa})$ 。氧在常温下与有些物质不发生作用, 在高温下能与多种元素直接进行氧化反应。氧不可燃, 但助燃。氧无毒, 但人在高浓度氧中, 对肺和中枢神经有不良影响。

【生产方法】 提纯氧的方法有多种, 最常用的是低温精馏法和催化法。利用低压水电解装置出来的电解氧, 经过催化脱氢, 干燥除水和催化除烃的生产流程, 可以达到 99.995% 以上高纯氧。

以空分装置生产的氧为原料经两级精馏后得 99.5% 以上的氧, 再进入高纯氧塔, 经过两次低温馏后得 99.995% 以上高纯氧, 以液态排入高纯氧液体贮槽中, 然后用专用液体槽车送至用户或经汽化后压缩充瓶。

【生产流程】 (1) 电解氧为原料

电解氧 → 脱水 → 催化脱氢 → 干燥 → 脱烃 → 加压 → 充瓶 → 成品

(2) 空分氧为原料

空气 → 液化 → 精馏 → 三级精馏 → 低温精馏 → 二级低温精馏 → 成品

【生产工艺】 水电解装置制造的电解氧纯度约 99.8%，经管道输送并减压后进入氧气缓冲罐，由膜压机一段加压至 1.2 MPa，进入纯化器。纯化器主要由四个部分组成：脱水器、脱氢器、干燥器、脱烃器。脱水器的功能主要是消除氧气中的碱液成分。脱氢器中装有催化剂，当氧气通过脱氢器时，电解氧中的主要杂质氢在催化剂作用下与氧发生反应生成水。干燥器的作用是除去反应生成的水。脱烃器里也装有催化剂，目的是脱除一氧化碳、甲烷等杂质。合格的高纯氧气从纯化器出来后，再经膜压机二段加压至 15 MPa，送至充气汇流排，充入合格的待充气瓶，各项技术的指标经分析检测合格后，就可作为高纯氧气气体标准物质产品。

气瓶预处理是保证合格产品的重要工序。气瓶预处理的关键有三点：一是要选择合格的气瓶。所谓合格的气瓶，首先要完全符合劳动部颁发的《气瓶安全监察规程》，气瓶外表面的颜色、字样符合 GB 7144《气瓶颜色标记》的规定。不符合充装条件的气瓶严禁充装。对气瓶的气密性检验要严格，逐瓶用检漏液进行检验，瓶阀最好是选用无爆破片的氩阀，或专用气瓶阀，通常情况下禁止用其他气瓶改制成高纯氧气瓶，特殊情况下的改制应由专业单位进行，并事先用四氯化碳清洗掉气瓶内壁残存的油污，以确保安全和质量。有条件的还可以对气瓶内壁进行抛光或涂层处理。二是对传统的加热真空处理流程进行改进。可在气瓶与真空泵之间加入冷凝管和除水系统，这样做可以防止水分大量进入真空泵油内，影响抽真空效果。三是加热抽真空过程不能一次完成，首次抽真空后还必须充入合格的高纯氧气进行置换，然后再抽真空，这样反复抽空置换 2~3 次。虽然每次抽真空的真空度可以达到 3~5 Pa，理论计算，瓶内残存的氮、水的杂质量对高纯氧的杂质的含量影响不大 ($N_2 < 0.5 \times 10^{-6}$, $H_2O < 0.5 \times 10^{-6}$)，实际上，由于真空表的安装装置靠近真空泵，因此其指示值与被处理气瓶内部实际真空度之间存在的一定的误差。所以上述措施是非常必要的。