

# 氮肥工艺设计手册

硝酸 硝酸铵

化学工业出版社

# 氮肥工艺设计手册

硝酸、硝酸铵

化工部化工设计公司 主编

化工部第二设计院等编写

化学工业出版社

## 内 容 提 要

本书系《氮肥工艺设计手册》的硝酸、硝酸铵分册，主要介绍稀硝酸、浓硝酸和硝酸铵的各种生产方法、工艺流程、工艺设计计算、设计数据、主要设备工艺计算和计算实用图表等。

本书主要供从事硝酸、硝酸铵设计、生产技术人员使用，也可供中、高等化工院校师生参考。

## 氮肥工艺设计手册

硝酸、硝酸铵

化工部化工设计公司 主编

化工部第二设计院等 编写

\*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

\*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 $34^{2/4}$ 插页 1 字数861千字印数1—4 810

1983年7月北京第1版1983年7月北京第1次印刷

统一书号15063·3462定价3.60元

# 前 言

硝酸是化学工业中的重要产品，可以制造硝酸铵、硝酸钠、硝酸钾、硝酸钙及硝酸磷肥等含氮复合肥料。硝酸铵除了可用作肥料外，还可用于爆破作业和制造其它炸药的原料。

浓硝酸是国防工业制造三硝基甲苯、苦味酸、硝化纤维、硝化甘油和雷汞的原料。它的中间产品液体四氧化二氮是发射火箭、导弹的高能燃料。浓硝酸与有机物作用所制得的各种产品及中间产品，又是染料工业等部门所不可缺少的原料。因此，硝酸工业在国民经济中占有重要的地位。

建国以来，我国硝酸工业有了很大的发展。目前，我们不仅掌握了硝酸、硝酸铵的生产操作技术，而且已能进行各种规模的设计、制造和施工，为今后继续建设更多的现代化硝酸工厂提供了有利的条件。

本书为《氮肥工艺设计手册》的分册之一，主要介绍稀硝酸、硝酸镁法制取浓硝酸、液态氮氧化物直接制取浓硝酸和硝酸铵的生产方法、工艺流程、工艺计算以及常用的设计数据、图表等。

参加本书主编和编写的有化工部化工设计公司李贤根和化工部第一设计院于秋蓉，化工部第二设计院甘生焯、江纪海、张玉华，化工部第四设计院王时珍。化工部第二设计院于清秀、刘焕贤、化工部第一设计院雷霁等参加了部分编写。

本书经审查会讨论后作了必要的修改与补充，最后由李贤根、化工部第二设计院夏开琦审阅。

本书主要供从事硝酸、硝酸铵的设计、生产和科研人员使用，亦可供大专院校师生参考。

本书在编写过程中，得到有关单位的大力支持和指导，提供了许多宝贵意见，谨此表示感谢。

由于我们水平所限，书中存在缺点和错误之处，希广大读者予以指正。

编者 1981年

# 目 录

## 第一章 氨氧化法制造稀硝酸

### 第一节 工艺流程及物料数据.....1

#### 一、中压法生产稀硝酸的工艺流程及物料数据.....1

图1-1-1 在4.5绝压下生产稀硝酸的工艺流程

表1-1-1 图1-1-1的工艺物料数据表

图1-1-2 Rhone-Progil(隆-泼罗杰尔)法生产稀硝酸的工艺流程

表1-1-2 图1-1-2的工艺物料数据表

图1-1-3 Fauser-Montedison(福瑟-蒙特爱迪生)法(5.5绝压)生产稀硝酸的工艺流程

图1-1-4 Friedrich-Uhde(弗里德利希-伍德)法(5~10绝压)生产稀硝酸的工艺流程

图1-1-5 Pechiney-Saint Gobain/Pintsch-Bamag(彼其尼-圣-果班/品其-巴马格)法(4~6绝压)生产稀硝酸的工艺流程

#### 二、高压法生产稀硝酸的工艺流程.....13

图1-1-6 Girdler(格德勒)法(8绝压)生产稀硝酸的工艺流程

图1-1-7 Chemico(凯米科)法(8绝压)生产稀硝酸的工艺流程

图1-1-8 Weatherly(韦特利)法(8.5绝压)生产稀硝酸的工艺流程

#### 三、综合法生产稀硝酸的工艺流程及物料数据.....14

图1-1-9 Grand-Paroisse(格朗德-帕鲁伊斯)法生产稀硝酸的工艺流程

表1-1-3 图1-1-9的工艺物料数据表

图1-1-10 在1/3.5绝压下生产稀硝酸的工艺流程

图1-1-11 Friedrich-Uhde(弗里德利希-伍德)法(1/3~6绝压)生产稀

硝酸的工艺流程

图1-1-12 Ugine-Kuhlmann(尤金-库尔曼)法( $1/\geq 5.5$ 绝压)生产稀硝酸的工艺流程

#### 四、双加压法生产稀硝酸的工艺流程及物料数据.....25

图1-1-13 Stamicarbon(斯塔米卡邦)法生产稀硝酸的工艺流程

表1-1-4 图1-1-13的工艺物料数据表

表1-1-5 图1-1-14的工艺物料数据表

图1-1-14 Uhde(伍德)法生产稀硝酸的工艺流程

图1-1-15 SBA(比利时氮素公司)法(3/7~9绝压)生产稀硝酸的工艺流程

#### 五、同时生产两种浓度硝酸的工艺流程.....31

图1-1-16 Bamag(巴马格)法同时生产两种浓度硝酸的工艺流程

#### 六、各法生产稀硝酸的主要特点及消耗定额.....31

表1-1-6 各法生产稀硝酸的主要特点及消耗定额

### 第二节 生产过程的工艺计算.....31

#### 一、氨的接触氧化.....31

(一) 铂网催化剂的活性表面积计算.....31

(二) 铂网催化剂生产强度计算.....31

表1-2-1 铂网催化剂的规格

(三) 接触时间.....35

图1-2-1 在压力5~31公斤/厘米<sup>2</sup>下,氨在铂网催化剂上接触氧化的最适宜的接触时间 $\tau_{op}$ 的算图

(四) 操作压力在6~31公斤/厘米<sup>2</sup>下,在铂网催化剂上NO的最大产率 $a_{max}$ (%)的求取.....35

图1-2-2 在压力6~31公斤/厘米<sup>2</sup>下,铂网催化剂上NO的最大产率 $a_{max}$

(五) 氧化率与接触时间或气流速度及铂铑网催化剂的几何性质的关系.....35
表1-2-2 计算在不同接触时间下的 $\alpha$ 和 $\gamma$ 的数值
(六) 混合气组成的计算.....37
(七) 接触氧化反应后气体组成的计算.....38
(八) 接触氧化器的热量平衡计算.....38
(九) 尾气量和补加空气(二次空气)量的计算.....39
(十) 用列线图表计算氨接触氧化的物料平衡.....41
图1-2-3 氨接触氧化的物料平衡算图(一)
图1-2-4 氨接触氧化的物料平衡算图(二)
表1-2-3 进入接触氧化装置的氨-空气混合气的组成
表1-2-4 接触氧化反应后湿氧化氮气体的组成
二、一氧化氮氧化成二氧化氮.....44
(一) 一氧化氮生成二氧化氮的平衡组成计算.....44
表1-2-5 $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$ 反应的平衡常数
表1-2-6 NO氧化反应的平衡常数
(二) NO氧化成 $\text{NO}_2$ 的反应速度的计算.....45
表1-2-7 氧化速度公式中各变数的单位.....46
图1-2-5 NO的反应速度常数与温度、压力的关系
表1-2-8 不同温度下用氧氧化一氧化氮的速度常数
图1-2-6 $ka^2\tau$ 与氧化度 $\alpha$ 的关系
表1-2-9 $ka^2\tau P^2$ 值与 $\gamma$ 和 $\alpha$ 的关系
图1-2-7 M与 $\alpha$ 的关系
图1-2-8 NO氧化度在0.30~0.97范围的算图
图1-2-9 NO氧化度在0.01~0.5范围内的算图
图1-2-10 $\gamma$ 与 $\alpha$ 的关系
表1-2-10 一氧化氮氧化的速度常数
图1-2-11 反应速度常数与温度的关系
表1-2-11 一氧化氮氧化的平衡常数

图1-2-12 平衡常数与一氧化氮氧化温度的关系

图1-2-13 不同 $m$ 值下 $\alpha$ 值与 $\gamma$ 值的关系(完全混合式流动)

图1-2-14 不同 $m$ 值下 $\alpha$ 值与 $\gamma$ 值的关系(活塞式流动)

三、二氧化氮叠合为四氧化二氮.....61

    (一) 平衡常数的求取.....61

表1-2-12  $\text{NO}_2$ 叠合反应的平衡常数

表1-2-13  $\text{NO}_2$ 叠合反应的 $\lg K_2$ 值

图1-2-15  $\text{NO}_2$ 叠合反应的平衡常数

    (二)  $\text{NO}_2$ 叠合的平衡组分计算.....63

四、用水吸收二氧化氮.....65

    (一) 吸收反应的平衡.....65

    (二) 氧化氮与硝酸溶液平衡时各项数据间的关系.....66

    (三) 分平衡常数 $K_1$ 、 $K_3$ 和平衡常数 $K_p$ 值的求取.....66

图1-2-16  $\lg K_1$ 算图(一)

图1-2-17  $\lg K_1$ 算图(二)

图1-2-18 稀硝酸浓度下 $\lg K_1$ 算图

表1-2-14 在不同温度和酸浓度下的 $K_1$ 、 $K_3$ 、 $K_p$ 值

图1-2-19  $\lg K_1 = \lg \frac{P_{\text{NO}}}{P_{\text{NO}_2}^3}$ 与温度、

酸浓度的关系

表1-2-15 不同温度和酸浓度下的 $K_1$ 和 $K_p$ 值

表1-2-16  $\lg K_1$ 值(Πepob等测定)

表1-2-17  $\lg K_1$ 值

    (四) 平衡组分的计算.....71

图1-2-20 氧化氮与硝酸溶液作用时, 氧化氮气体的氧化度与 $t$ 、 $A$ 和 $\lg K_1 K_2^2$ 的关系

图1-2-21  $\lg K_1 K_2^2$ 与 $C_{\text{HNO}_3}$ 和 $t$ 的关系

图1-2-22  $\lg K_1 K_2^2$ 与硝酸浓度和温度的关系

图1-2-23 氧化氮与硝酸溶液作用时, 氧化氮气体氧化度 $\alpha$ 的算图

表1-2-18 氧化氮气体与 $\text{HNO}_3$ 溶液平衡时 $\lg M_1$ 与 $\lg Z_1$ 值

图1-2-24 30℃时硝酸溶液与氧化氮气体间平衡条件的关系

图1-2-25 35℃时硝酸溶液与氧化氮气

体间平衡条件的关系	算.....	115
表1-2-19 不同浓度硝酸在各温度下 $m \cdot 10^3$ 与 $n \cdot 10^2$ 值	表1-3-1 水的A值	
表1-2-20 平衡时硝酸溶液上方含一氧化氮气体中二氧化氮和四氧化二氮的分压	表1-3-2 系数B值	
图1-2-26 在25℃的平衡条件下,硝酸液面上气体中氧化氮和二氧化氮的比例	表1-3-3 $t_n(^\circ\text{C})$ 计算表	
图1-2-27 硝酸与氧化氮气体间平衡条件的算图	表1-3-4 冷凝段传热面积总计算表	
图1-2-28 3~62% $\text{HNO}_3$ 与氧化氮气体间平衡条件的算图	四、筛板式吸收塔的计算.....	125
(五) 硝酸吸收塔塔板效率计算.....	(一) 逐板计算法.....	125
89	(二) 列线图表计算法.....	125
图1-2-29 在气体压力为7.02大气压(绝)时,吸收塔在不同负荷下板效率C与硝酸浓度的关系	表1-3-5 用图1-3-1与图1-3-2时参数的允许范围	
图1-2-30 筛板塔中板效率C与硝酸浓度的关系	图1-3-1 在 $\eta=98\%$ 与用图1-2-34得到的塔板效率计算吸收塔高 $H_0$ 值	
图1-2-31 筛板塔中板效率C与硝酸浓度的关系	图1-3-2 按图1-2-34得到的塔板效率计算系数 $\beta$ 值	
图1-2-32 板效率与硝酸浓度的关系	图1-3-3 在 $\eta=95\%$ ,用图1-2-34求得的塔板效率,用式(1-3-29)计算吸收塔高 $H_{01}$ 值	
图1-2-33 筛板塔板效率的算图	图1-3-4 按式(1-3-30)计算 $\beta_0$ 值的算图	
图1-2-34 筛板塔板效率的算图	图1-3-5 按式(1-3-25)、(1-3-28)求取 $\frac{H}{H_0}$ 与 $\frac{H}{H_{01}}$ 值的算图	
表1-2-21 系数A和指数 $q$ 、 $r$ 数值	五、常压填充式吸收塔的计算.....	131
(六) 最适宜板间距的求取.....	图1-3-6 吸收系统自由比容积与段数的关系	
93	图1-3-7 吸收系统自由比容积、百分率变化与吸收率关系	
图1-2-35 板间距与压力对氧化氮吸收度的关系	图1-3-8 吸收系统自由比容积变化与成品酸浓度的关系	
(七) 吸收塔补加水量的计算.....	图1-3-9 吸收系统自由比容积的百分率变化与纯氧补加量的关系	
93	图1-3-10 吸收系统自由比容积的百分率变化与塔内温度的关系	
(八) 吸收塔的物料和热量衡算(逐板计算).....	图1-3-11 吸收系统自由比容积的百分率变化与压力关系	
94	图1-3-12 吸收系统自由比容积的百分率变化与氨氧化率的关系	
图1-2-36 根据 $\lg K_1$ 、 $\lg K_2$ 与A的值确定氧化氮平衡分压 $X$ 的算图	图1-3-13 吸收系统自由比容积百分率的变化与段数的关系	
五、用碱吸收残余氧化氮气体的物料计算.....	六、压缩机机组的工艺计算.....	137
102	(一) 离心式空气压缩机的计算.....	137
(一) 碱吸收.....	图1-3-14 常用气体的绝热指数	
102	图1-3-15 压缩机排气温度算图	
表1-2-22 各种吸收剂吸收氧化氮气体的总吸收速度系数	(二) 氧化氮气体压缩机的计算.....	139
(二) 碱吸收后溶液加工.....	(三) 尾气透平回收功率的计算.....	139
105		
图1-2-37 $\text{NaNO}_2$ - $\text{NaNO}_3$ 共溶曲线		
<b>第三节 主要设备的工艺计算</b> .....		
110		
一、接触氧化器直径的确定.....		
110		
二、尾气预热器传热面积及阻力计算.....		
110		
三、快速冷却器传热面积及管内阻力计		

(四) 蒸汽透平的计算.....	140	表1-4-18 氧化器主要规格及参数	
七、废热锅炉的计算.....	141	表1-4-19 尾气预热器主要规格及参数	
(一) 过热段传热面积计算.....	141	表1-4-20 硝酸吸收塔主要规格及参数	
表1-3-6 废热锅炉物料平衡表		(三) 低压、中压法生产稀硝酸主要设备.....	173
图1-3-16 自然循环废热锅炉物料、热量分布简图		表1-4-21 空气过滤器主要规格及参数	
表1-3-7 $C_m$ 值计算表		表1-4-22 氨-空气混合器主要规格及参数	
图1-3-17 氧化氮混合气焓-温图		表1-4-23 空气压缩机主要规格及参数	
表1-3-8 废热锅炉热量平衡表		表1-4-24 接触氧化器主要规格及参数	
表1-3-9 氧化氮混合气物性数据 (一)		表1-4-25 废热锅炉主要规格及参数	
(二) 蒸发段传热面积计算.....	152	表1-4-26 尾气预热器主要规格及参数	
表1-3-10 氧化氮混合气物性数据(二)		表1-4-27 快速冷却器主要规格及参数	
(三) 废热锅炉水循环路线的核算.....	155	表1-4-28 氧化氮气体冷却器主要规格及参数	
表1-3-11 阻力计算数据表		表1-4-29 硝酸吸收塔主要规格及参数	
表1-3-12 计算表		(四) 双加压法生产稀硝酸主要设备.....	180
表1-3-13 计算表		表1-4-30 空气过滤器主要规格及参数	
图1-3-18 水循环特性曲线		表1-4-31 氨蒸发器主要规格及参数	
<b>第四节 主要设备设计参数及简图.....</b>	<b>162</b>	表1-4-32 氨过滤器主要规格及参数	
一、主要设备设计参数.....	162	表1-4-33 压缩机机组主要规格及参数	
(一) 常压法生产稀硝酸的主要设备.....	162	表1-4-34 氨-空气混合器主要规格及参数	
表1-4-1 鼓风机主要规格及参数		表1-4-35 二次空气冷却器主要规格及参数	
表1-4-2 空气过滤器主要规格及参数		表1-4-36 接触氧化器主要规格及参数	
表1-4-3 氨过滤器主要规格及参数		表1-4-37 废热锅炉主要规格及参数	
表1-4-4 混合气净化装置主要规格及参数		表1-4-38 蒸汽过热器主要规格及参数	
表1-4-5 接触氧化器主要规格及参数		表1-4-39 高温气-气换热器主要规格及参数	
表1-4-6 废热锅炉主要规格及参数		表1-4-40 省煤器主要规格及参数	
表1-4-7 气体冷却器主要规格及参数		表1-4-41 低压反应水冷凝器主要规格及参数	
表1-4-8 碱吸收塔主要规格及参数		表1-4-42 尾气预热器主要规格及参数	
表1-4-9 酸冷却器主要规格及参数		表1-4-43 高压反应水冷凝器主要规格及参数	
表1-4-10 硝酸吸收塔主要规格及参数		表1-4-44 硝酸吸收塔主要规格及参数	
(二) 综合法生产稀硝酸的主要设备.....	168	二、主要设备简图.....	186
表1-4-11 鼓风机主要规格及参数		(一) 全压法流程.....	186
表1-4-12 空气净化装置主要规格及参数		图1-4-1 空气过滤器	
表1-4-13 混合气过滤器主要规格及参数		图1-4-2 氨过滤器	
表1-4-14 接触氧化器主要规格及参数		图1-4-3 素瓷过滤器	
表1-4-15 废热锅炉主要规格及参数			
表1-4-16 气体冷却洗涤器主要规格及参数			
表1-4-17 氧化氮压缩机主要规格及参数			



图1-4-4	接触氧化器 (一)	
图1-4-5	接触氧化器 (二)	
图1-4-6	快速冷却器	
图1-4-7	吸收塔	
(二)	双加压法流程	194
图1-4-8	氨-空气混合器	
图1-4-9	接触氧化器和废热锅炉	
图1-4-10	吸收塔	
<b>第五节</b>	<b>设计消耗定额及工艺操作数据</b>	197
一、	设计消耗定额	197
表1-5-1	设计消耗定额	
二、	工艺操作数据	198
表1-5-2	工艺操作数据	
<b>第六节</b>	<b>稀硝酸生产中常用的耐腐蚀金属</b>	
材料		199
一、	管道材质的选择	199
表1-6-1	管道材质的选择	
二、	耐酸钢的使用范围	199
表1-6-2	不锈钢耐酸钢使用范围	
三、	耐酸钢的耐腐蚀性能及工业钛的物 化数据	201
表1-6-3	不锈钢耐酸钢在硝酸腐蚀介质 中的耐腐蚀性	
表1-6-4	钛在硝酸中的耐腐蚀性	
表1-6-5	钛、耐酸钢和锆在不同浓度 硝酸中的腐蚀速度	
表1-6-6	国产工业纯钛的化学成分	
表1-6-7	国产工业纯钛的机械性能	
表1-6-8	钛的物理性能	
四、	不锈钢、耐热钢国内外牌号对照 表	203
表1-6-9	不锈钢、耐热钢国内外牌 号对照表	
<b>第七节</b>	<b>对稀硝酸生产的主要原材料及产 品质量的要求</b>	205
一、	主要原材料的要求	205
表1-7-1	稀硝酸生产中三种典型装置 对主要原材料的要求	
二、	制取硝酸磷肥等对稀硝酸质量的要 求	207
表1-7-2	制取硝酸磷肥等对稀硝酸质 量的要求	
<b>第八节</b>	<b>氨氧化用铂系催化剂</b>	207
一、	铂网催化剂的化学成分	207

表1-8-1	用不同的催化剂时 $\text{NH}_3$ 生成 NO 的最大限度	
二、	国产铂网催化剂的规格	208
三、	铂的平均损失量与铂网温度的关系	209
图1-8-1	铂损失量与温度的关系	
四、	铂网催化剂的使用期限	209
<b>第九节</b>	<b>硝酸设计的数据计算</b>	
和图表		210
一、	关于酸吸收率的计算法	210
二、	氨氧化过程中几个主要参数之间的 关系	211
图1-9-1	氨氧化成一氧化氮的氧化度 与氨-空气混合气中 $\text{O}_2$ 与 $\text{NH}_3$ 的比例 关系	
表1-9-1	氧化率与温度和铂网催化剂 生产强度的关系	
表1-9-2	氧化率与接触时间及铂网催 化剂生产强度的关系	
图1-9-2	在 $900^\circ\text{C}$ 时氧化率与铂网催化 剂生产强度及混合气中氨含量的关系	
图1-9-3	干燥的氨-空气混合气和饱和 水蒸汽的氨-空气混合气的爆炸界限 (氨百分含量与温度的关系)	
三、	吸收比容积与压力的关系	212
表1-9-3	吸收容积与压力的关系	
四、	产品酸浓度与进塔气体中氮氧化物 成分的关系	213
五、	空气消耗量及尾气量与尾气中含 $\text{O}_2$ 及 $\text{NH}_3$ 氧化率的关系	213
图1-9-4	生产一吨 $\text{HNO}_3$ 的空气消耗量 与排出气的氧含量及氨的氧化率之关 系	
图1-9-5	生产 1 吨 $\text{HNO}_3$ 所排出废气量 与排出气中之氧含量及氨氧化率之关 系	
六、	常压法硝酸设计用图	214
图1-9-6	各塔硝酸产量与吸收塔段数 的关系	
图1-9-7	各塔酸浓度与吸收段数的关 系	
图1-9-8	各塔放出热量与吸收段数的 关系	
图1-9-9	硝酸冷却器传热面积与冷却 水温度关系 (冷却器材料为不锈钢)	

图1-9-10 硝酸冷却器传热面积与冷却水温度关系 (冷却器材料为铸铁制)

### 第十节 稀硝酸生产中几种溶液和气体的

物化数据..... 220

一、溶液..... 220

表1-10-1 20℃时硝酸水溶液的浓度和密度对照表

表1-10-2 硝酸水溶液的导热系数

表1-10-3 硝酸水溶液液面上的硝酸蒸汽分压 $P_{HNO_3}$ 、水蒸汽分压 $P_{H_2O}$ 和蒸汽总压 $P$

表1-10-4 硝酸水溶液的热容

表1-10-5 硝酸钠溶液温度、浓度及密度关系 (一)

表1-10-6 硝酸钠溶液温度、浓度及密度关系 (二)

表1-10-7 硝酸钠溶液热容

表1-10-8 硝酸钠溶液在不同浓度和温度下的粘度

表1-10-9  $NaNO_2$ — $NaNO_3$  共溶表

表1-10-10 在硝酸钠溶液上的蒸气压力

表1-10-11  $NaOH$  溶液比重

表1-10-12  $Na_2CO_3$  溶液比重

图1-10-1 1~30%  $HNO_3$  在0~100℃时的比容

图1-10-2 30~100%  $HNO_3$  在温度0~100℃时的比容

图1-10-3 硝酸水溶液的比热

图1-10-4 在4~60℃范围内 $HNO_3$ 溶液的密度

图1-10-5 0~40℃范围内10~100%  $HNO_3$  溶液的动力粘度

图1-10-6 10~60℃范围内10~50%  $HNO_3$  溶液的动力粘度

图1-10-7 0~100%  $HNO_3$  溶液的普兰德准数

图1-10-8  $HNO_3$ — $H_2O$  系统的结晶曲线图

图1-10-9 硝酸水溶液的导电率与硝酸浓度的关系

图1-10-10 硝酸的稀释热与硝酸浓度的关系

图1-10-11 硝酸水溶液的粘度与硝酸浓度的关系

图1-10-12 不同温度下硝酸蒸气压与硝酸浓度的关系

图1-10-13 硝酸水溶液的沸点与硝酸浓度的关系

图1-10-14 在大气压下硝酸钠溶液的浓度与沸点的关系

二、气体..... 237

表1-10-13 几种气体的热含量

表1-10-14 大气压下气体导热系数

表1-10-15 在760毫米汞柱压力下空气的密度 $d$ 、空气中的水分含量 $C_{H_2O}$ 和水蒸汽的蒸汽压力 $P_{H_2O}$

表1-10-16 大气压下气体的粘度

表1-10-17  $P=1$ 大气压时, 从0~ $t$ ℃的平均克分子热容

表1-10-18 在一大气压下气体与蒸汽的平均克分子热容

表1-10-19 各种氮氧化物的物理性质

图1-10-15 0~1000℃范围内氧化氮气体的比热

参考文献..... 241

## 第二章 浓硝酸

第一节 硝酸镁法制取浓硝酸..... 244

表2-1-1 硝酸水溶液的沸点及气、液相的组成

图2-1-1 760毫米汞柱下硝酸的沸点及液相组成

一、工艺流程及物料数据表..... 244

图2-1-2 硝酸镁法制取浓硝酸工艺流程

表2-1-2 图2-1-2的工艺物料数据表

图2-1-3 年产8000吨浓硝酸通用设计工艺流程

二、生产过程的工艺计算..... 248

(一) 物料平衡计算..... 248

表2-1-3 精馏系统物料平衡表

图2-1-4 硝酸镁-硝酸-水三元相图

图2-1-5 硝酸镁-硝酸-水三元混合物的沸点

表2-1-4 蒸发系统物料平衡表

(二) 热量平衡计算..... 252

1. 精馏系统的热量平衡计算..... 252

表2-1-5 精馏系统热量平衡表

图2-1-6 硝酸镁水溶液的微分蒸发热,

P = 760毫米汞柱	
图2-1-7 硝酸镁水溶液的微分蒸发热,	
P = 690毫米汞柱	
图2-1-8 硝酸镁水溶液的微分蒸发热,	
P = 760~650毫米汞柱	
图2-1-9 硝酸镁水溶液的积分浓缩热,	
P = 760毫米汞柱	
图2-1-10 硝酸镁水溶液的积分浓缩	
热, P = 690毫米汞柱	
图2-1-11 硝酸镁水溶液的积分浓缩	
热, P = 760~650毫米汞柱	
表2-1-6 硝酸镁水溶液的比热	
表2-1-7 硝酸镁、硝酸水溶液的混合热	
2. 蒸发系统的热量平衡计算	255
表2-1-8 蒸发系统热量平衡表	
3. 浓硝酸冷凝器的热量平衡计算	256
表2-1-9 常压下纯硝酸镁水溶液和含	
杂质的硝酸镁水溶液的沸点	
表2-1-10 不同真空度下硝酸镁水溶液的	
沸点	
图2-1-12 硝酸镁水溶液的沸点 (一)	
图2-1-13 硝酸镁水溶液的沸点 (二)	
三、主要设备的工艺计算	257
(一) 精馏塔、提馏塔的计算	257
1. 塔径的确定	257
表2-1-11 瓷拉西环的特性 (乱堆)	
表2-1-12 瓷拉西环的特性 (整砌)	
图2-1-14 泛点速度算图	
2. 压力降的计算	259
图2-1-15 填料塔压降的通用关联图	
表2-1-13 硝酸镁水溶液的重度	
表2-1-14 硝酸镁水溶液的粘度 (一)	
表2-1-15 硝酸镁水溶液的粘度 (二)	
3. 填料塔高度的计算	261
表2-1-16 系数 A、B、C 值	
表2-1-17 硝酸镁水溶液的表面张力	
(二) 水喷射器的计算	263
1. 设计数据	263
2. 工作水量计算	264
3. 喷射器的结构尺寸计算	264
图2-1-16 水喷射器结构图	
表2-1-18 水喷射器各部分尺寸计算公式	
表2-1-19 水喷射器的计算公式及计算	

结果	
(三) 硝酸镁加热器传热系数的计算	265
1. 计算对数平均温差	265
2. 计算蒸汽冷凝的给热系数	266
3. 硝酸镁溶液对管子的给热系数	266
表2-1-20 常压下硝酸镁水溶液的导热系数	
4. 硝酸镁加热器传热系数	267
(四) 硝酸镁蒸发器传热系数的计算	267
四、主要设备工艺设计参数	268
(一) 主要设备工艺设计参数	268
表2-1-21 主要设备工艺设计参数	
(二) 主要设备简图	269
图2-1-17 提馏塔	
图2-1-18 精馏塔	
图2-1-19 硝酸镁加热器	
图2-1-20 水喷射器	
五、设计消耗定额及主要工艺操作数据	270
(一) 设计消耗定额	270
表2-1-22 设计消耗定额	
(二) 主要工艺操作数据	271
六、产品质量标准	271
表2-1-23 浓硝酸GB337-64	
表2-1-24 苏联ГОСТ701-58及日本	
K1308-57 标准	
七、主要材料的质量要求	271
(一) 硝酸镁溶液的制备	271
表2-1-25 原料分析表	
表2-1-26 溶液比较表	
(二) 硝酸镁溶液的杂质	272
表2-1-27 某厂硝酸镁溶液含杂质的情况	
八、生产经验数据	273
(一) 配料比	273
(二) 回流比	273
(三) 喷淋密度和空塔速度	274
表2-1-28 空塔速度、喷淋密度与硝酸浓	
度及稀硝酸镁溶液中所含硝酸量的关系	
(四) 填料高度	276
<b>第二节 用液态氮氧化物直接制取浓硝酸</b>	276
一、工艺流程及物料数据	277
(一) 常压发烟硝酸吸收系统的直硝工	
艺流程	277
表2-2-1 常压发烟硝酸吸收系统的直	
硝工艺物料数据表	
图2-2-1 常压发烟硝酸吸收系统的直	

硝工艺流程	
(二) 综合法发烟硝酸吸收系统的直硝	
工艺流程	281
图2-2-2 综合法发烟硝酸吸收系统的直硝工艺流程	
表2-2-2 综合法发烟硝酸吸收系统的直硝工艺物料数据表	
(三) 国外浓硝酸的新工艺流程及其技术数据	284
1. Sumitomo (住友) 法	284
表2-2-3 Sumitomo法制浓硝酸的消耗定额	
图2-2-3 Sumitomo法浓硝酸和稀硝酸联合生产的工艺流程	
2. Humphreys and Glasgow (汉弗莱斯和格拉斯哥) 法	286
3. SABAR法	286
图2-2-4 Humphreys and Glasgow浓硝酸和稀硝酸联合生产的工艺流程	
图2-2-5 SABAR法浓硝酸生产的工艺流程	
4. CONIA法	289
图2-2-6 CONIA法浓硝酸和稀硝酸联合生产工艺流程	
表2-2-4 CONIA法浓硝酸生产的消耗定额	
5. 国外直接法浓硝酸生产的工艺技术数据	290
表2-2-5 国外直接法浓硝酸的工艺技术数据	
二、生产过程的工艺计算	290
(一) 高压釜混合料的组成及配料计算方法	290
1. 原料组成	290
表2-2-6 加入高压釜的混合料的原料组成	
2. 混合料组成	290
表2-2-7 加入高压釜的混合料组成	
3. 高压釜混合料的配料计算公式	291
表2-2-8 加入高压釜的混合料的配料比	
表2-2-9 加入高压釜混合料的配料比	
4. 高压釜混合料配料计算在生产中的应用	293
(二) 高压釜吹除气平衡组成的计算	293
图2-2-7 发烟硝酸溶液面上蒸气压与温度的关系	
表2-2-10 高压釜吹除气组成	
(三) 四氧化二氮冷凝度的计算	294
表2-2-11 1大气压(绝)下纯 $N_2O_4$ 的分解度	
表2-2-12 二氧化氮的冷凝度	
(四) 直接法浓硝酸工艺过程的化学反应动力学方程	296
1. 重氧化过程的反应速度方程	296
图2-2-8 用浓硝酸氧化一氧化氮的反应速度常数	
2. 发烟硝酸吸收过程的反应速度方程	297
图2-2-9 用发烟硝酸溶液吸收二氧化氮的吸收速度常数与其饱和度的关系	
表2-2-13 气体线速度为0.4米/秒时吸收速度常数K值	
表2-2-14 用不同浓度的硝酸溶液吸收二氧化氮(浓度为10% $NO_2$ ) 的吸收速度常数K值	
3. 高压釜合成浓硝酸过程的反应速度方程	297
图2-2-10 氮氧化物的硝酸溶液对氧的吸收度与温度及压力的关系	
图2-2-11 硝酸生成速度与发烟硝酸中四氧化二氮过剩量的关系	
图2-2-12 四氧化二氮、水、硝酸相互作用生成浓硝酸的反应速度常数	
(五) 物料、热量衡算	299
1. 发烟硝酸吸收塔重氧化段物料、热量衡算	299
2. 发烟硝酸吸收段物料、热量衡算	302
3. 洗涤段物料衡算	303
4. 高压釜物料、热量衡算	304
5. 离析器物料衡算	308
6. 漂白塔物料衡算	308
7. 初步冷却器物料衡算	309
图2-2-13 不同的压力下 $HNO_3-NO_2$ 体系的沸腾曲线	
8. 液体四氧化二氮冷凝器物料、热量衡算	310
(六) 制冷装置的工艺计算	315
1. 氮压缩制冷	315

(1) 氨压缩制冷循环过程·····	315	图2-2-27 带有稀溶液膨胀器和辅助吸	
图2-2-14 单级压缩制冷循环过程		收器的氨吸收制冷计算流程图	
图2-2-15 a 双级压缩制冷循环过程		图2-2-28 带有稀溶液膨胀器和辅助吸	
图2-2-15 b 带蛇形管过冷液氨的双级		收器的氨吸收制冷的循环	
压缩制冷循环过程		图2-2-29 双级发生和双级吸收制冷计	
(2) 活塞式氨压缩制冷的典型流程·····	316	算流程图	
图2-2-16 单级氨压缩制冷的典型流程		图2-2-30 双级发生和双级吸收制冷的	
图2-2-17 双级氨压缩制冷的典型流程		循环与热量关系	
(3) 氨压缩制冷的工作条件·····	317	三、直硝主要设备的工艺计算·····	340
(4) 氨压缩机的制冷能力·····	318	(一) 发烟硝酸吸收塔·····	340
表2-2-15 各蒸发温度所规定的过热度		1. 塔径的确定·····	340
及压力降		2. 重氧化段和吸收段的理论塔板数	
(5) 单级压缩制冷循环的压缩机的制		的计算·····	340
冷能力和功率计算·····	318	3. 例题·····	340
图2-2-18 单级制冷循环 $\lg P-i$ 图		图2-2-31 发烟硝酸吸收塔	
表2-2-16 氨的单位容积制冷能力		(二) 高压釜·····	344
(6) 双级压缩制冷循环的压缩机制		1. 筒体外形尺寸设计·····	344
冷能力和功率的计算·····	322	2. 高压釜塔板数目的计算·····	344
表2-2-17 高压级与低压级的循环量之		3. 例题·····	344
比值 $\gamma$		图2-2-32 高压釜	
(7) 制冷系统的辅机计算·····	324	图2-2-33 硝酸生成速度与发烟硝酸中	
表2-2-18 各种型式氨冷凝器的 $Q_{ca}$ 值		四氧化二氮过剩量的关系	
表2-2-19 各种类型冷凝器的 $\Delta t$ 值		(三) 漂白塔·····	346
表2-2-20 各种蒸发器的 $Q_F$ 值		1. 蒸汽夹套加热面积的计算·····	346
2. 氨吸收制冷·····	327	图2-2-34 漂白塔	
(1) 单级氨吸收制冷的循环过程和工		2. 漂白塔塔板数目的计算·····	348
艺计算·····	327	图2-2-35 $HNO_3-NO_2$ 溶液的漂白塔塔	
图2-2-19 氨-水二元溶液 $i-\xi$ 图		板数目的计算	
图2-2-20 单级氨吸收制冷循环计算流		(四) 液体四氧化二氮冷凝器·····	351
程		图2-2-36 液体四氧化二氮冷凝器	
图2-2-21 单级氨吸收制冷循环在 $i-\xi$		四、直硝主要设备设计参数·····	352
图上的状态		(一) 常压发烟硝酸吸收系统的直硝主	
表2-2-21 实际循环过程的状态参数		要设备设计参数·····	352
图2-2-22 单级氨吸收制冷装置最低发		1. 一般设备的设计数据·····	352
生终温的确定		2. 各种热交换器设备设计特性数据·····	352
图2-2-23 根据发生压力确定塔顶蒸汽		表2-2-22 常压发烟硝酸吸收系统的直	
的温度 $t_{Ra}$ 和焓 $i''_{Ra}$		硝主要设备设计参数	
图2-2-24 过热器后制冷量的修正系		表2-2-23 各种热交换器设备设计特性	
数·····	332	数据	
图2-2-25 最小回流比和最小回流热的		(二) 综合法发烟硝酸吸收系统的直硝	
计算图表		设备设计参数·····	356
图2-2-26 根据浓溶液浓度 $\xi_r$ 和冷凝		表2-2-24 综合法发烟硝酸吸收系统的	
压力 $P_c$ 确定 $\eta_r/\eta_p$ 的比值		直硝设备设计参数	
(2) 双级氨吸收制冷的工艺计算·····	336	(三) 设备的比容积及比表面积·····	357

表2-2-25 设备的比容积及比表面积	
五、设计消耗定额及主要工艺操作数据	357
(一) 主要工艺操作数据	357
1. 常压发烟硝酸吸收系统的直硝工 艺操作数据	357
表2-2-26 常压发烟硝酸吸收系统的直 硝工艺操作数据	
2. 综合法发烟硝酸吸收系统的直硝 工艺操作数据	359
表2-2-27 综合法发烟硝酸吸收系统的 直硝工艺操作数据	
(二) 直硝工艺的设计消耗定额	360
表2-2-28 直硝工艺的设计消耗定额	
(三) 直硝工艺管道的物料流速数据	361
表2-2-29 直硝工艺物料管道流速	
六、浓硝酸生产中常用耐腐蚀金属材料	362
(一) 金属耐腐蚀性能的分类标准	362
表2-2-30 均匀腐蚀三级标准	
表2-2-31 均匀腐蚀十级标准	
表2-2-32 腐蚀率换算表	
(二) 硝酸的腐蚀及选材图	363
1. 腐蚀图	363
图2-2-37 硅铸铁 (14~16%Si)	
图2-2-38 铝 (99.5%Al)、铝硅合金 (12%Si, 余为Al)	
图2-2-39 Cr-Ni钢 (18-8)	
2. 选材图	364
图2-2-40 硝酸选材图	
(三) 高硅铸铁	364
表2-2-33 化学成分	
表2-2-34 物理性能	
表2-2-35 线膨胀系数	
表2-2-36 机械性能	
表2-2-37 STSi-15耐腐蚀性能表	
表2-2-38 STSi-15在浓硝生产中使 用 情况	
(四) 铝	366
表2-2-39 铝的物理性能	
表2-2-40 铝的工艺性能	
表2-2-41 铝的机械性能	
表2-2-42 纯铝的化学成分	
表2-2-43 铝在浓硝酸中的耐腐蚀数据	
表2-2-44 铝的成分和牌号对照表	
(五) 高镍铬不锈钢耐酸钢	368
1. 高镍铬钢 Cr18Ni11Si4TiAl、 Cr20Ni24Si4.5Ti和Cr28 的机械性能 和化学成分	368
表2-2-45 不锈钢耐酸钢ЭИ654、Cr28 及 Cr20Ni24Si4.5Ti的化学成分及机械 性能	
2. Cr28、ЭИ654和 Cr20Ni24Si4.5Ti 钢的耐腐蚀数据	368
表2-2-46 Cr28钢在硝酸中的耐腐 蚀 数据	
表2-2-47 ЭИ654 和 Cr20Ni24Si4.5Ti 钢在试验室中腐蚀率	
表2-2-48 ЭИ654 和 Cr20Ni24Si4.5Ti 钢在80~85℃浓硝酸中现场挂片耐腐 蚀数据	
表2-2-49 金相组织对耐浓硝酸腐 蚀 的影响	
3. ЭИ654、高纯铝及Cr20Ni24Si4.5Ti 钢的使用情况	371
表2-2-50 高压釜排酸阀阀头使用 情况	
(六) 无镍节铬耐酸钢	371
1. 耐酸钢Cr5Al7NbTi和Cr13Si4NbRe 的化学成分及机械性能	371
表2-2-51 Cr5Al7NbTi及 Cr13Si4NbRe 的化学成分及机械性能	
表2-2-52 Cr5Al7NbTi钢的化学成分与 冲击值的关系	
表2-2-53 Cr13Si4NbRe钢的冲击值	
2. Cr5Al7NbTi钢的耐腐蚀数据	373
表2-2-54 Cr5Al7NbTi钢在50℃的98% HNO <sub>3</sub> 中的腐蚀数据	
表2-2-55 Cr5Al7NbTi钢现场挂片腐 蚀数据	
表2-2-56 表2-2-55中不同部位的腐 蚀 介质条件	
表2-2-57 Cr5Al7NbTi钢在离析器出口 现场挂片的耐腐蚀数据	
表2-2-58 Si含量对Cr5Al7NbTi钢耐腐 蚀 性的影响	
表2-2-59 Nb对Cr5Al7NbTi钢耐腐 蚀 性的影响	
3. Cr13Si4NbRe钢的耐腐蚀数据	376
图2-2-41 Cr13Si4Nb钢种在98% HNO <sub>3</sub> 中的耐蚀性	

图2-2-42 Cr13Si4Nb钢中的Si含量对耐  
浓硝酸腐蚀的影响

表2-2-60 Cr13Si4NbRe系列钢的化学  
成分

表2-2-61 Cr13Si4NbRe等钢种在98%  
HNO<sub>3</sub>中的腐蚀率

表2-2-62 Cr13Si4Nb钢的现场挂片耐  
腐蚀数据

表2-2-63 Cr13Si4Nb钢的使用情况

七、直硝工艺物料中HNO<sub>3</sub>—N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>O  
三元系统的物化数据图表…………… 381

(一) 四氧化二氮的物化数据和图表…………… 381

表2-2-64 N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>的物化数据

图2-2-43 液态N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>液面上的蒸汽压

(二) 发烟硝酸溶液的物化数据图表…………… 382

1. 发烟硝酸溶液的密度…………… 382

图2-2-44 N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>的65~90% HNO<sub>3</sub>溶液  
的密度

图2-2-45 在0~20℃时发烟浓硝酸溶  
液的密度

2. 发烟硝酸溶液的克分子容积…………… 384

图2-2-46 N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>的65~90% HNO<sub>3</sub>溶液  
的克分子容积

3. 发烟硝酸溶液的动力粘度…………… 384

图2-2-47 N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>的65~90% HNO<sub>3</sub>溶液  
的动力粘度

图2-2-48 发烟硝酸溶液的动力粘度

4. 发烟硝酸溶液的蒸汽压…………… 385

图2-2-49 N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>的65~80% HNO<sub>3</sub>溶液  
的蒸汽压

图2-2-50 N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>的85~90% HNO<sub>3</sub>溶液  
的蒸汽压

图2-2-51 发烟浓硝酸的蒸汽压

图2-2-52 浓硝酸溶液在0~100℃时的  
蒸汽压

图2-2-53 在98% HNO<sub>3</sub>与N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>的溶液  
面上NO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>的蒸汽压

图2-2-54 -10℃时三元系统HNO<sub>3</sub>—  
N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>O溶液面上的饱和蒸汽压

图2-2-55 0℃时三元系统HNO<sub>3</sub>—N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>—  
H<sub>2</sub>O溶液面上的饱和蒸汽压

图2-2-56 10℃时三元系统HNO<sub>3</sub>—N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>  
—H<sub>2</sub>O溶液面上的饱和蒸汽压

图2-2-57 20℃时三元系统HNO<sub>3</sub>—N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

—H<sub>2</sub>O溶液面上的饱和蒸汽压

5. 发烟硝酸溶液面上的各种蒸汽的  
分压…………… 392

表2-2-65 不同压力下发烟硝酸溶液面  
上的各蒸汽的分压

6. 发烟硝酸溶液的沸点…………… 392

表2-2-66 不同压力下发烟硝酸溶液的  
沸点及蒸汽中氮氧化物的含量

7. 发烟硝酸溶液的焓值…………… 393

表2-2-67 发烟硝酸溶液的焓值

8. 发烟硝酸溶液面上饱和蒸汽的  
焓值…………… 393

表2-2-68 发烟硝酸溶液面上饱和蒸汽  
的焓值

(三) 二氧化氮在97% HNO<sub>3</sub>中的溶  
解度…………… 393

表2-2-69 二氧化氮在97% HNO<sub>3</sub>中的  
溶解度

参考文献…………… 394

### 第三章 硝酸尾气处理

表3-0-1 硝酸尾气排放标准

表3-0-2 某些国家的硝酸尾气排放规定

**第一节 硝酸尾气处理方法**…………… 396

表3-1-1 尾气处理方法

**第二节 选择性催化还原法**…………… 396

一、反应的基本原理…………… 396

二、工艺流程及主要设备数据…………… 397

(一) 工艺流程…………… 397

图3-2-1 氨选择性催化还原法工艺  
流程

(二) 主要设备数据…………… 397

表3-2-1 反应器的规格及参数

三、工艺操作数据…………… 398

表3-2-2 工艺操作数据

**第三节 亚硫酸铵溶液吸收法**…………… 398

一、反应的基本原理…………… 399

二、主要设备…………… 399

三、工艺操作数据…………… 399

参考文献…………… 399

### 第四章 硝酸铵

**第一节 工艺流程及物料数据**…………… 401

一、11万吨/年硝铵通用设计工艺流程 及物料数据表.....	401	( $q_{6,7}$ )和硝酸浓度的关系	
表4-1-1 图4-1-1的工艺物料数据表		图4-2-10 各种压力下硝铵溶液的沸点 与浓度的关系	
图4-1-1 11万吨/年硝铵通用设计工艺 流程		表4-2-2 任何压力下温差系数 $f$ 值与 饱和蒸汽温度 $t_s$ 的关系	
二、1万吨/年硝铵通用设计工艺流程及 物料数据表.....	403	图4-2-11 硝铵溶液在不同的真空度下 的沸点及饱和点与溶液浓度的关系	
图4-1-2 1万吨/年硝铵通用设计工艺 流程		(二) 工艺计算举例.....	417
表4-1-2 图4-1-2的工艺物料数据表		表4-2-3 中和物料平衡表	
三、多孔粒状硝铵生产(沸腾造粒)工 艺流程.....	404	表4-2-4 中和热量平衡表	
图4-1-3 多孔粒状硝铵生产(沸腾造 粒)工艺流程		二、蒸发工序.....	419
四、Stamicarbon(斯塔米卡邦)工艺 流程.....	404	(一) 被蒸发的水量 $W$ 的计算.....	419
图4-1-4 Stamicarbon工艺流程		(二) 硝铵溶液的沸点温度计算.....	420
五、ICI-Nitram & Uhde(ICI-奈屈姆 及伍德)工艺流程及物料数据表.....	404	(三) 硝铵溶液蒸发浓缩热的计算.....	420
图4-1-5 ICI-Nitram & Uhde 工艺流 程		图4-2-12 硝酸稀释热和硝铵的溶解热	
表4-1-3 图4-1-5的工艺物料数据表		(四) 蒸发所消耗的热量计算.....	420
六、AC-72(阿斯-72)工艺流程.....	409	(五) 溶液返料量 $G_b$ 的计算.....	421
图4-1-6 AC-72 工艺流程		(六) 冷凝器内的水消耗量 $G$ 的计算.....	421
七、硝铵几种主要生产方法比较.....	410	(七) 蒸汽喷射器(或真空泵)从表面 冷凝器中抽出的混合气体量 $G_m$ 的 计算.....	421
表4-1-4 硝铵几种主要生产方法比较		图4-2-13 整个密闭系统漏入空气的最 大量	
<b>第二节 生产过程的工艺计算</b> .....	410	(八) 蒸汽喷射器(或真空泵)从混合 式冷凝器中抽出的混合气体量 $G_m$ 的 计算.....	423
一、中和工序.....	410	图4-2-14 在不同温度下,每米 <sup>3</sup> 水中 的空气量	
(一) 工艺计算.....	411	(九) 表面式冷凝器进出口被冷凝的水 蒸汽露点温度 $t$ 的计算.....	423
图4-2-1 氨热容和温度的关系		(十) 冷凝器出口处的总压力 $P'_m$ 的 计算.....	423
图4-2-2 硝酸热容与浓度和温度的 关系		表4-2-5 冷凝器中允许压力降的百 分数	
图4-2-3 氨冷却至18℃时放出的热量 ( $q_1$ )与初始温度的关系		(十一) 中间表面冷凝器进口混合气体 的温度 $t_m$ 的计算(由第一级蒸汽喷射 器来的混合气体温度).....	423
图4-2-4 18℃时从水溶液中分离1克分 子 $HNO_3$ 消耗的热量		图4-2-15 喷射系数确定图	
图4-2-5 18℃时水中硝酸铵溶解热		(十二) 蒸发器物料及热量平衡计算 举例.....	425
图4-2-6 氨中和硝酸过程中放出的热 量( $q_{2\sim 5}$ )与硝酸浓度的关系		表4-2-6 蒸发器物料平衡表	
图4-2-7 确定氨中和硝酸反应的热 效应		表4-2-7 蒸发器热量平衡表	
表4-2-1 硝铵水溶液的热容		三、结晶工序.....	426
图4-2-8 硝铵溶液的沸点、比热与比重		(一) 硝铵在结晶过程中晶型相互转变	
图4-2-9 硝铵最终浓度与所消耗热量			



析出的热量.....	426	图4-3-6 液膜厚度	
表4-2-8 NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 结晶变型温度、变型 放热及比容改变值		四、冷凝器.....	444
(二) 混合式冷凝器冷却水消耗量W的 计算.....	427	(一) 冷凝器的结构型式及选择.....	444
四、沸腾造粒.....	427	图4-3-7 A 间壁冷凝器	
(一) 工艺过程计算.....	427	图4-3-7 B 单效混合式冷凝器	
(二) 工艺过程计算举例.....	429	(二) 间壁冷凝器的计算.....	445
表4-2-9 沸腾造粒器物料平衡表		表4-3-3 f 值与Re的关系	
(三) 主要工艺参数的选择.....	431	(三) 混合式冷凝器的计算.....	448
图4-2-16 粒度及吸油率与床温的关系		表4-3-4 冷却水用量与冷凝器直径的 关系	
图4-2-17 粒度及吸油率与溶液浓度的 关系		表4-3-5 筛板间距与冷凝器直径的关 系(一)	
图4-2-18 粒度及吸油率与溶液温度的 关系		表4-3-6 筛板间距与冷凝器直径的关 系(二)	
图4-2-19 18烷胺含量与硝铵结块强度 的关系		图4-3-8 A 六块筛板的冷凝器	
五、硝铵颗粒沸腾冷却工艺过程计算.....	433	图4-3-8 B 七块筛板的冷凝器	
(一) 换热量计算.....	433	表4-3-7 混合冷凝器的高度与直径的 比例关系	
(二) 冷却用空气量计算.....	434	图4-3-9 淋水板	
<b>第三节 主要设备工艺计算.....</b>	<b>434</b>	图4-3-10 大气排水管高度	
一、中和器.....	434	表4-3-8 水在各种温度下的重量(压 力为760毫米汞柱)	
(一) 中和器容积的确定.....	434	表4-3-9 对于不同管径的λ值	
(二) 中和器蒸发空间的计算.....	434	五、蒸汽喷射器.....	452
(三) 中和器内中和室的高度的确定.....	434	(一) 蒸汽喷射器简易设计计算.....	453
图4-3-1 稀硝酸沸点与压力的关系		图4-3-11 蒸汽喷射器的形状结构	
(四) 中和器的结构型式.....	435	表4-3-10 各级喷射器可达到的压力 范围	
图4-3-2 A 中和器		图4-3-12 一级喷射器	
图4-3-2 B ИТН型中和器		图4-3-13 二级喷射器	
二、气氨预热器.....	436	图4-3-14 三级喷射器	
(一) 换热量Q的计算.....	436	图4-3-15 四级喷射器	
(二) 蒸汽消耗量G的计算.....	437	图4-3-16 五级喷射器	
(三) 传热面积F的计算.....	437	图4-3-17 喷射器结构尺寸	
表4-3-1 湍流的校正系数ε <sub>1</sub> 值		表4-3-11 扩散管喉径D和混合室直径 D <sub>0</sub> 的关系	
图4-3-3 给热系数算图(Re>10000)		表4-3-12 喷嘴的计算系数值	
图4-3-4 蒸汽含有不凝性气体时α的校 正系数f值		图4-3-18 自由喷射流在距离喷嘴截面 l <sub>c</sub> 的直径d <sub>c</sub> (d <sub>c</sub> <D <sub>c</sub> , A=0)	
三、蒸发器.....	440	图4-3-19 自由喷射流在距离喷嘴截面 l <sub>c</sub> 处的直径d <sub>c</sub> (d <sub>c</sub> >D <sub>c</sub> , A>0)	
(一) 薄膜蒸发器的选型.....	440	图4-3-20 蒸汽喷射器简图	
表4-3-2 薄膜蒸发器选型标准		六、沸腾造粒器(沸腾床).....	461
图4-3-5 A A型升膜式蒸发器		(一) 沸腾造粒器设计中的几个问题.....	461
图4-3-5 B B型升膜式蒸发器			
(二) 膜式蒸发器设计的几个问题.....	442		
(三) 蒸发器的工艺计算.....	442		