

磷酸 磷铵 重钙

技术与设计手册

化学工业部建设协调司 组织编写
化工部硫酸和磷肥设计技术中心

化学工业出版社

磷酸 磷铵 重钙技术与设计手册

化学工业部建设协调司 组织编写
化工部硫酸和磷肥设计技术中心

化学工业出版社
·北京·

41563

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

磷酸 磷铵 重钙技术与设计手册 / 化学工业部建设协调司, 化工部硫酸和磷肥设计技术中心组织编写. 北京: 化学工业出版社, 1996. 7

ISBN 7-5025-1720-0

I. 磷... I. ①化... ②化... III. 磷肥, 水溶性-生产工艺-技术-手册 IV. TQ442.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 07807 号

出版发行: 化学工业出版社 (北京市朝阳区惠新里 3 号)

社长: 俸培宗 总编辑: 蔡剑秋

发 行: 新华书店北京发行所
印 刷: 化学工业出版社印刷厂
装 订: 三河市前程装订厂
版 次: 1997 年 1 月第 1 版
印 次: 1997 年 1 月第 1 次印刷
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 61 1/4
插 页: 1
字 数: 1526 千字
印 数: 1—2000
定 价: 120.00 元

總高設計部量為我(列)高

懷度及合(肥)發(展)作(之)負(載)。

李中書

一九九三年二月

《磷酸 磷铵 重钙技术与设计手册》

编写和编审人员名单

主 编 姚永发 方天翰
 顾问 袁 纽 刘培林 林 乐
 各章编写人员和审核人员

	编 写 人			审 核 人		
第一章	王姒云			许秀成	陈懿生	方天翰
第二章	丁德承			许秀成	陈懿生	方天翰
第三章	王治政	刘又三		陈复升		
	陈教荃			方天翰		
第四章	陈教荃	陆文龙	陈德华	王励生	姚永发	陆文龙
	王励生	张允湘	朱 平			
	张剑光	钱曙光				
第五章	张沂圭			王励生	方天翰	
第六章	陆文龙	余炳才	陈教荃	汪明远	陈玉如	
第七章	姚永发	李德祥	陈懿生	陈德华	魏文彦	
	赵榴霞	王励生				
第八章	陈玉如	许乃谷		汪明远		
第九章	谭家驥			姚永发		
第十章	谭家驥			姚永发		
第十一章	曹智澄	姚永发	俞守业	陆坤荣		
第十二章	姚永发	李德祥	陈教荃	方天翰	汪明远	
	陆文龙	陈懿生	陈德华			
	许乃谷					
附录	王姒云			方天翰	姚永发	

手册第四章由陈教荃、第六章由陆文龙、第七章和第十二章由姚永发进行统稿。

序

磷酸铵和重过磷酸钙是适合于不同土壤和各种作物的高浓度磷、复肥，这两种肥料发达国家自 60 年代，我国自 80 年代起就成为化肥发展的主要品种。

近 15 年来，我国自行开发、建设了一大批生产装置，同时向国外引进了几种生产技术，因而我国的磷铵和重钙工业有了较快的发展，但仍满足不了农业生产对高浓度磷、复肥的需求，为此，前几年不得不从国外大量进口磷铵等复合肥料。从化肥品种结构调整和总量需求看，“九五”期间，乃至更长的一段时期内，磷铵等高浓度复合肥料将是我国化肥工业今后发展的主要品种。

我国的磷铵、重钙工业虽然起步较晚，但前 15 年已相继建立起一批各种规模、各种生产方法与流程的磷酸、磷铵和重钙装置，可至今还没有一本关于这些品种的设计手册和技术资料。为了促进今后的发展，为了给我国磷酸、磷铵和重钙装置的建设提供技术指导和设计资料，化工部建设协调司决定委请化工部硫酸和磷肥设计技术中心，在组织总结前 15 年的设计、生产经验和消化吸收国外先进技术基础上，编成一本技术与设计手册，应该说，此举非常必要，亦非常艰巨。经过 6 年来大家的努力，特别是由化工部硫酸和磷肥设计技术中心组织，南化（集团）公司设计院、化工部化工矿山设计研究院、化工部第三设计院、中国五环化学工程公司、四川联合大学、上海化工研究院等单位的专家的具体参加编写，手册才得以最后定稿。在这里要感谢为这本手册尽过心力的每一个单位和每一位同志，特别要感谢姚永发、方天翰、汪明远、王士君等同志完成了全书的最后审定等工作。

这本手册是建国以来涉及磷酸、磷铵、重钙工业资料最齐、很有实用价值的技术与设计手册，内容极为丰富。是我国长期从事磷复肥设计、科研、教育和生产各方面专家的经验总结，我想必将对我国今后磷复肥的发展、技术和设计水平的提高起积极的推动作用。

袁旦

一九九二年二月十四日
于北京

前 言

本手册初稿于1993年10月完成，同年11月进行了初审。经修改后，化工部建设协调司于1994年组织了部审。

本书共分十二章。

第一、二章常用基础数据和磷酸、磷酸铵等物化数据。

第三章磷矿，汇编了国内108个磷矿区的资源情况和48个磷矿企业概况，提供了国内105个商品磷矿产品的化学组成和20种商品磷矿的物性数据以及国内磷矿石产品运销流向，还列出了国外主要磷矿组成、产量和贸易情况。

为了满足生产和建设需要，该章第四节汇编了30多种商品磷矿在国内外工程公司、研究单位、高等院校所进行的评价试验结果。

第四章湿法磷酸、第五章磷酸浓缩、第六章氟化铝、第七章磷酸铵、第八章重过磷酸钙是本书的重点。这五章总结和汇编了国内前15年自行开发设计和各引进装置的设计与生产经验。每章对各种生产方法从概况、基本原理、对原材料的质量要求、工艺流程、生产操作控制、工艺条件选择、消耗定额、主要设备介绍以及用实例进行物料平衡、热量平衡和主要设备的计算。有的还对新技术的发展、运用和各种生产方法的优缺点进行了分析。

任何工艺生产过程都要由设备来完成，第九章以列表形式介绍了磷酸、磷铵、重钙等产品常用的主要设备；第十章介绍了磷酸、磷铵、重钙等产品常用的各种耐腐蚀材料、管道、管件和特种阀门。

第十一章三废治理和综合利用除介绍磷酸、磷铵、重钙等产品生产过程中的污染源和排放物外，着重介绍了国内已取得成效的三废综合利用实用技术。

第十二章汇编了国内各种生产方法、各种规模的磷酸、磷铵、重钙装置的建厂指标，包括投资、三材用量等。

为读者使用方便，附录中收集了有关产品规格、单位换算等内容。

本书的特点是实用性强。读者使用这本手册可查到各种技术资料与数据，例如磷酸各种二水法、半水法、半水-二水法的工艺流程、对原材料的质量要求、生产操作控制指标、工艺条件、消耗定额，根据读者所选择的原料条件，从第一、二章中查找基础数据和物化数据，再参照第四章中物料平衡、热量平衡和主要设备计算方法实例进行计算，由计算结果再查第九章设备规格系列选择和确定设备，再根据介质物料条件查第十章常用材料选择确定设备和管道的材质。

对于建设单位选用某种磷矿需要评价试验资料时，从第三章第四节30多种商品磷矿评价试验结果中，就可能找到所要的相同或类似磷矿的评价试验结果。对于从事磷酸生产的人员，当生产磷酸的原料磷矿矿种改变并需要确定下一种磷矿的工艺条件时，也可用同样方法查第三章第四节，找到所要的数据。

对于从事磷铵、氟化铝、重钙工作的读者也可同类似的方法使用。

对于建设单位所关心的一个项目的基本概况、投资、占地等数据，按所需要的品种和建设规模查第十二章就可找到各种建厂指标。

本书的第二个特点是内容全面。它基本上集中了国内从事磷矿、磷酸、氟化铝、磷铵、重钙设计的几个主要设计院的内部资料，经过加工较系统化、条例化，使读者用这本手册就可进行设计、计算和技术改造中的方案比较，也是生产者们的技术资料。

书中部分物化数据、曲线，为保持其准确性，沿用原计量单位和相关处注明单位换算外，均采用“中华人民共和国法定计量单位”。

书中涉及国外工厂、公司及生产方法的中外文对照已列入附录；涉及国外地名，凡常用中译名外，一般地名及矿名则采用原文或原名的缩写名。

在手册出版之际，向参加手册编写和审查的单位以及为手册编写提供过资料的各设计单位、科研单位、高等院校和企业致以深切的谢意。

我国磷酸、磷铵和重钙工业的技术资料由各单位所掌握，我们尽了最大努力，打破单位界线，共同作奉献。因此本书基本上集中了各设计、科研、建设和生产企业的设计技术和资料，因而这本手册反映了我国磷酸、磷铵和重钙目前的设计与生产技术水平。

由于我们水平有限，手册中必然存在一些缺点和错误，敬希读者和同行专家不吝指正。

姚永发

1996年2月6日

内 容 提 要

《磷酸、磷铵、重钙技术与设计手册》一书共分十二章。主要包括工艺设计基础数据和物化数据、磷矿数据；湿法磷酸、磷酸浓缩、氟化铝、磷酸铵、重过磷酸钙工艺技术；三废治理、综合利用与建厂指标；常用设备和材料系列等部分。

主要介绍工艺基本原理、各种生产方法和特点、生产操作控制与技术经济指标、工艺参数选择、工艺设计计算和主要设备选型计算范例以及数据图表公式、主要磷矿的化学组成和国内外评价试验成果等内容。

本手册是国内磷复肥行业第一部内容全面、技术性和实用性较强的工具书。

可供从事化肥设计、科研、生产、建设等单位技术人员和管理人员查用，也可供大专院校有关专业师生参考。

目 录

第一章 化工计算常用基础数据

第一节 常用物质的物性常数	1	表 1-1-12 干空气的物性参数 ($P=1.033\text{Pa}$)	25
一、常用化合物的热力学常数	1	七、湿空气的物性常数	26
表 1-1-1 常用化合物的标准生成热、溶解 热、比热容 (25°C)	1	表 1-1-13 大气压力在 $0.993\times 10^5\text{Pa}$ (745mmHg) 时湿空气的热 焓量 I 和湿含量 d	26
图 1-1-1 常用酸、碱水溶液比热容	5	表 1-1-14 在 $P=1.013\times 10^5\text{Pa}$ (760mmHg) 时 1kg 干空气 中湿空气的比容	28
二、常用气体的主要物化性质	5	表 1-1-15 在 $P=1.013\times 10^5\text{Pa}$ (760mmHg) 时湿空气的密度	30
表 1-1-2 常用气体的主要物化性质	6	表 1-1-16 在 $P=1.013\times 10^5\text{Pa}$ (760mmHg) 时湿空气中的水 蒸汽分压	31
图 1-1-2 常用气体导热系数	7	表 1-1-17 在 $P=1.013\times 10^5\text{Pa}$ (760mmHg) 时湿空气中水蒸 汽的容重	32
三、一些物质的扩散系数	8	图 1-1-10 $P=0.993\times 10^5\text{Pa}$ (745mmHg) 时湿空气 $I-d$ 图	33
表 1-1-3 一些物质在氢、二氧化碳、空气 中的扩散系数	8	图 1-1-11 高温湿空气 $I-d$ 图	34
表 1-1-4 一些物质在水溶液中的扩散 系数	8	八、烟道气的物性参数	34
表 1-1-5 某些无机物在水溶液中的扩散 系数	9	表 1-1-18 烟道气的物性参数	34
四、液体的表面张力	9	九、固体物料的物性参数	35
表 1-1-6 某些无机物水溶液的表面张力	9	表 1-1-19 某些固体物料的密度、导热系 数、比热容和导温系数	35
五、水的物性参数	10	十、某些肥料的典型堆密度、休止角和表观 相对密度	37
表 1-1-7 饱和水的物性常数	10	表 1-1-20 某些肥料的典型堆密度、休 止角和表观相对密度	37
图 1-1-3 水的相对密度	11	十一、粒状肥料的表观相对密度、粒度分布和 颗粒形状	38
图 1-1-4 水的导热系数	11	表 1-1-21 粒状肥料的表观相对密度、 粒度分布和颗粒形状	38
表 1-1-8 饱和水蒸汽的物理常数	12	第二节 常用设计参数	39
表 1-1-9 饱和水蒸汽的蒸汽压 ($-20\sim 100^{\circ}\text{C}$)	13		
表 1-1-10 饱和蒸汽和饱和水性质 (以 温度为基准)	14		
表 1-1-11 饱和蒸汽和饱和水性质 (以 压力为基准)	19		
图 1-1-5 饱和水、饱和水蒸汽粘度	22		
图 1-1-6 过热水蒸汽的密度	23		
图 1-1-7 过热水蒸汽的比热容	23		
图 1-1-8 过热水蒸汽粘度	24		
图 1-1-9 过热水蒸汽的 $\text{Pr}-t$	24		
六、干空气的物性参数	25		

一、通用常数	39	表 1-3-9 第二类污染物最高允许排放 浓度	52
二、常用无因次数据	39	表 1-3-10 部分行业最高允许排水定额 及污染物最高允许排放浓度	53
表 1-2-1 常用无因次数据	39	三、居住区大气中有害物质的最高容许浓度	53
三、各地室外空气计算参数	41	表 1-3-11 居住区大气中有害物质的最 高容许浓度	53
表 1-2-2 各地室外空气计算参数	41	四、通用标准	54
四、海拔高度与压力	42	五、安全、卫生、环境标准规范	55
表 1-2-3 海拔高度压力表	42	六、工程制图	55
五、流体常用流速范围	43	七、施工验收规范	56
表 1-2-4 流体常用流速范围	43	第四节 氨的物理常数	56
六、管径、流量、流速	44	一、氨的性质	56
图 1-2-1 管径、流量、流速关系图	44	表 1-4-1 氨的性质	56
七、管道留孔和坡度	44	二、氨水溶液的表面张力	58
(一) 管道留孔	44	表 1-4-2 氨水溶液的表面张力 (20℃)	58
(二) 管道坡度	44	三、氨水比热容	58
八、标准筛目对照	44	表 1-4-3 氨水比热容	58
表 1-2-5 标准筛目对照	45	四、氨蒸气的比热容	59
九、中国与英、美、德线规对照	47	图 1-4-1 氨蒸气比热容	59
表 1-2-6 中国线规与英、美、德线规 对照	47	五、液氨比热容	59
第三节 常用设计标准与规范	47	图 1-4-2 液氨比热容	59
一、磷肥、硫酸工业污染物排放标准	47	六、液氨粘度	59
(一) 普钙工业污染物排放标准 (GB4917-85)	47	表 1-4-4 液氨粘度	59
表 1-3-1 含氟废气排放标准	48	七、氨水溶液的粘度	60
表 1-3-2 废水排放标准	48	图 1-4-3 氨水溶液粘度	60
表 1-3-3 制粉废气中粉尘排放标准	48	八、氨水溶液凝点	60
(二) 黄磷工业污染物排放标准 (GB4283-84)	48	表 1-4-5 氨水溶液凝点	60
表 1-3-4 黄磷工业废水最高容许排放浓 度和 pH 值	49	九、氨水溶液密度	61
(三) 磷肥放射性镭-226 限量卫生标准 (GB8921-88)	49	表 1-4-6 氨水溶液密度	61
(四) 硫酸工业污染物排放标准 (GB4282-84)	49	十、液氨 (及蒸气) 密度	61
表 1-3-5 硫酸工业尾气排放标准	50	表 1-4-7 液氨 (及蒸气) 密度	61
表 1-3-6 硫酸工业废水排放标准	50	十一、氨的导热系数	62
二、三废排放标准	51	图 1-4-4 氨的导热系数	62
(一) 废气排放标准	51	十二、氨水溶液导热系数	63
表 1-3-7 十三类有害物质的排放标准	51	图 1-4-5 氨水溶液导热系数	63
(二) 废渣排放标准	51	十三、氨的饱和蒸气 (以温度计)	63
(三) 污水综合排放标准	52	表 1-4-8 氨的饱和蒸气表 (以温度计)	63
表 1-3-8 第一类污染物最高允许排放 浓度	52	十四、氨同干空气和湿空气混合物的爆炸 范围	64

图 1-4-6 氨同干空气和湿空气混合物的 爆炸范围	64	五、浓硫酸溶液的相对密度	67
第五节 硫酸的物理常数	65	图 1-5-3 浓硫酸溶液的相对密度	67
一、硫酸的比热容	65	六、稀硫酸及硝酸、盐酸水溶液的相对密度	68
表 1-5-1 硫酸比热容	65	图 1-5-4 稀硫酸及硝酸、盐酸水溶液的 相对密度	68
二、硫酸水溶液凝点	65	七、硫酸、磷酸等常用水溶液在 20℃时的导 热系数	69
表 1-5-2 硫酸水溶液凝点	65	图 1-5-5 硫酸、磷酸等常用水溶液在 20℃时的导热系数	69
三、硫酸的稀释热	66	参考文献	69
图 1-5-1 25℃时硫酸的稀释热	66		
四、硫酸溶液的粘度	66		
图 1-5-2 硫酸溶液的粘度	66		

第二章 磷酸 磷铵 重钙理化数据

第一节 磷矿	70	应热和移走热量	79
图 2-1-1 磷矿浆含固率与相对密度的 关系	70	图 2-2-13 半水物磷酸 (43%P ₂ O ₅) 的反 应热和移走热量	80
第二节 湿法磷酸	70	图 2-2-14 P ₂ O ₅ -H ₂ O 体系蒸发热	80
一、密度	70	表 2-2-6 磷酸、硫酸及氢氟酸溶液的标 准生成热 (ΔH _{298.16})	80
表 2-2-1 纯磷酸的密度	70	四、蒸气压	80
图 2-2-1 磷酸的密度	72	图 2-2-15 纯磷酸的蒸气压	81
图 2-2-2 石膏料浆含固量与相对密度的 关系	73	图 2-2-16 磷酸溶液的饱和蒸气压	81
表 2-2-2 磷酸装置反应料浆的相对密度	73	图 2-2-17 湿法磷酸的蒸气压	82
二、粘度	74	图 2-2-18 正磷酸的平衡蒸气压	83
图 2-2-3 纯磷酸的粘度	74	五、沸点	83
图 2-2-4 磷酸的粘度	74	图 2-2-19 纯磷酸和浓磷酸的沸点曲线	83
图 2-2-5 磷酸的粘度	74	图 2-2-20 湿法磷酸的沸点	84
图 2-2-6 湿法磷酸的粘度	75	图 2-2-21 湿法磷酸沸点的升高	84
图 2-2-7 浓磷酸的粘度与含固量的关系	75	图 2-2-22 纯磷酸和湿法磷酸的沸点	85
三、热力学常数	75	图 2-2-23 磷酸装置反应器料浆的沸 点	85
图 2-2-8 磷酸的稀释热	75	六、湿法磷酸中的游离水和杂质	86
图 2-2-9 磷酸的稀释热 [21℃ (70F)]	76	图 2-2-24 湿法磷酸中的游离水和杂质	86
图 2-2-10 25℃时磷酸的导热系数	76	七、磷酸和水体系状态图	87
图 2-2-11 磷酸的导热系数	77	图 2-2-25 H ₃ PO ₄ -H ₂ O 体系状态图	87
表 2-2-3 磷酸水溶液的比热容	77	第三节 硫酸钙	87
表 2-2-4 纯磷酸和湿法磷酸的比热容	78	图 2-3-1 石膏在粗磷酸中的溶解度	87
表 2-2-5 以 Florida 矿制得的酸和料 浆在 60℃时的比热容和相对 密度	79	图 2-3-2 石膏和半水石膏在粗磷酸中的 溶解度	88
图 2-2-12 二水物磷酸 (30%P ₂ O ₅) 的反		图 2-3-3 75℃, 在 30%P ₂ O ₅ 磷酸中硫 酸钙的饱和度和过饱和度	88

图 2-3-4	80℃, 在 40%P ₂ O ₅ 磷酸中硫酸钙溶解度与时间的关系	88	图 2-5-3	磷酸铵溶液中和度与 pH 值关系	102
图 2-3-5	CaSO ₄ -H ₂ SO ₄ -H ₂ O 体系中 CaSO ₄ 稳定性图	89	图 2-5-4	磷酸铵料浆含水率与相对密度的关系	102
图 2-3-6	湿法磷酸生产中硫酸钙状态图	89	图 2-5-5	NH ₃ -H ₃ PO ₄ -H ₂ O 体系相图	102
表 2-3-1	各种形式硫酸钙在磷酸水溶液中的溶解度	90	图 2-5-6	NH ₃ -H ₃ PO ₄ -H ₂ O 体系饱和溶液上面 NH ₃ 的分压	103
第四节 氟硅酸及其盐类			91	图 2-5-7	磷酸铵料浆的相对密度和 NH ₃ /H ₃ PO ₄ 摩尔比的关系
图 2-4-1	氢氟酸溶液上面 HF 分压等温线	91	图 2-5-8	磷酸铵饱和溶液的氨蒸气压	104
图 2-4-2	氟硅酸溶液上面的 HF 蒸气压	92	图 2-5-9	NH ₃ -H ₃ PO ₄ -H ₂ O 体系饱和溶液上面 NH ₃ 的分压	104
图 2-4-3	氟硅酸溶液上面的 SiF ₄ 蒸气压	92	图 2-5-10	NH ₃ -H ₃ PO ₄ -H ₂ O 体系饱和溶液中不同 NH ₃ /H ₃ PO ₄ 摩尔比时气相中的 NH ₃ /H ₂ O 分压比	104
表 2-4-1	H ₂ SiF ₆ -H ₃ PO ₄ -H ₂ O 体系的汽液平衡	93	表 2-5-1	NH ₃ -H ₃ PO ₄ -H ₂ O 体系饱和溶液的粘度、密度和 pH 值	105
表 2-4-2	H ₂ SiF ₆ -H ₃ PO ₄ -H ₂ SO ₄ -H ₂ O 体系中 SiF ₄ 的分压	93	第六节 重过磷酸钙		
图 2-4-4	真空蒸发后湿法磷酸中的氟含量	94	一、CaO-P ₂ O ₅ -H ₂ O 体系和 MgO-P ₂ O ₅ -H ₂ O 体系		
图 2-4-5	Na ₂ SiF ₆ 、K ₂ SiF ₆ 在磷酸中的溶解度	95	表 2-6-1	CaO-P ₂ O ₅ -H ₂ O 体系溶解度	106
表 2-4-3	HF-H ₂ SiF ₆ -H ₂ O 体系液体和蒸气的组成及沸点	95	表 2-6-2	在 25℃ 时 CaO-P ₂ O ₅ -H ₂ O 体系的溶解度 (磷酸低浓度的区域)	109
表 2-4-4	氟硅酸水溶液上面 HF、SiF ₄ 和水的平衡分压	97	表 2-6-3	在 40℃ 时磷酸水溶液中介稳的 CaHPO ₄ ·2H ₂ O 的溶解度 (固相 CaHPO ₄ ·2H ₂ O)	109
表 2-4-5	氟硅酸水溶液在 17.5℃ 时的相对密度	98	表 2-6-4	CaO-P ₂ O ₅ -H ₂ O 体系的溶解度与蒸气压	109
表 2-4-6	不同温度条件下氟硅酸水溶液上面蒸气中的氟含量	98	表 2-6-5	在 40℃ 时 CaO-P ₂ O ₅ -H ₂ O 体系饱和溶液的氢离子活度、pH、密度与粘度	110
图 2-4-6	不同温度下氟硅酸溶液浓度与液面上蒸气中含氟量的关系	99	表 2-6-6	MgO-P ₂ O ₅ -H ₂ O 体系的溶解度	110
图 2-4-7	氟硅酸溶液浓度与蒸气压的关系	99	二、重过磷酸钙		
图 2-4-8	不同含量、温度条件下 HF-H ₂ O 体系的焓	100	表 2-6-7	矿石的品位和矿石的 CaO : P ₂ O ₅ 比对矿石和磷酸比以及	112
第五节 磷酸铵			101		
图 2-5-1	0~75℃ 时 NH ₃ /H ₃ PO ₄ 摩尔比与磷酸铵溶解度的关系	101			
图 2-5-2	NH ₃ -H ₃ PO ₄ -H ₂ O 体系特性曲线	101			

对重过磷酸钙 P_2O_5 含量的影响	112	表 2-7-7 25℃时无机肥料的吸湿性	117
图 2-6-1 磷灰石的溶解等容线	113	表 2-7-8 某些肥料的吸湿性	118
表 2-6-8 不同温度下 $CaO-P_2O_5-H_2O$ 三元体系的饱和溶液中的氢离子浓度 (C_{H^+})	113	表 2-7-9 由 $NH_4NO_3 + NH_4H_2PO_4 + KCl$ 组成的 NPK 肥料的吸湿性与贮存时间的关系	118
图 2-6-2 40℃下 $CaO-P_2O_5-H_2O$ 体系饱和溶液的粘度和氢离子活性与磷酸浓度的关系	114	(二) 肥料的结块性	118
图 2-6-3 不同温度下含 40% P_2O_5 的饱和溶液中磷酸一钙的结晶度与时间的关系	114	表 2-7-10 肥料结块性的标准等级	118
图 2-6-4 在 $CaO-P_2O_5-H_2O$ 体系的饱和溶液中磷灰石的分解	114	表 2-7-11 多元肥料结块性的分类	119
第七节 肥料品位与物性常数	114	(三) 肥料的分散性	119
一、肥料的品位	114	表 2-7-12 肥料分散性等级的标度	119
表 2-7-1 水溶性磷肥的品位	114	表 2-7-13 单一肥料的结块性和分散性	119
表 2-7-2 枸溶性磷肥的品位	115	(四) 肥料粒子的强度	119
表 2-7-3 多元肥料的品位	115	表 2-7-14 肥料粒子的强度	120
表 2-7-4 复合-混合肥料和混合肥料的品位	116	(五) 肥料的自然休止角	122
表 2-7-5 液体和悬浮多元肥料的品位	116	表 2-7-15 肥料的自然休止角	122
二、肥料的物性常数	116	(六) 肥料的含湿量	122
(一) 肥料的吸湿性	116	表 2-7-16 肥料的含湿量	122
表 2-7-6 肥料的吸湿标度及其应用数据	117	(七) 肥料的堆积密度、质量和分解温度	123
		表 2-7-17 肥料的堆积密度和质量	123
		表 2-7-18 复合肥料的分解温度	123
		参考文献	124

第三章 磷 矿

第一节 国内磷资源	125	表 3-2-4 国内磷矿产品化学组成	137
一、地质特征	125	四、部分磷矿企业产品物理特性	143
二、地理分布	125	表 3-2-5 部分磷矿企业产品物理特性	143
三、资源概况	126	五、国内大中型磷矿企业矿石产品运销流向	146
表 3-1-1 主要磷矿区资源简表	126	表 3-2-6 1991 年国内大中型磷矿企业矿石产品运销流向	146
表 3-1-2 其它磷矿区资源简表	130	六、国内磷矿产品标准	146
四、经济分类	131	第三节 国外商品磷矿	147
第二节 国内磷矿生产	131	表 3-3-1 国外某些商品磷矿的化学组成	147
一、生产简况	131	表 3-3-2 世界磷矿产量统计	148
表 3-2-1 1990 年主要磷矿产量	132	表 3-3-3 1992 年世界磷矿贸易	149
表 3-2-2 1990 年全国各省磷矿产量	132	第四节 磷矿评价	150
二、企业概况	132		
表 3-2-3 国内磷矿企业简况	132		
三、国内磷矿产品化学组成	136		

一、评价试验数据	150	矿)	165
表 3-4-1 反应部分工艺条件	150	(廿) 贵州省瓮福磷矿英坪矿段 (b 层矿)	165
表 3-4-2 技术及经济指标	152	165
表 3-4-3 磷矿、磷酸及磷石膏的化学组成	153	(廿一) 贵州省开阳磷矿	165
二、评价试验结果	160	(廿二) 贵州省开阳磷矿马路坪与青菜冲混矿	165
(一) 云南省上蒜磷矿	160	(廿三) 贵州省开阳磷矿极乐矿	165
(二) 云南省上蒜磷矿	160	(廿四) 贵州省开阳磷矿用沙坝矿	165
(三) 云南省江川磷矿	160	(廿五) 四川省马边老河坝矿	165
(四) 云南省江川磷矿	161	(廿六) 四川省金河原矿与云南省昆阳原矿的混矿	165
(五) 云南省晋宁磷矿	161	(廿七) 湖北省大峪口浮选磷精矿	165
(六) 云南省晋宁磷矿	161	(廿八) 湖北省大峪口浮选磷精矿	166
(七) 云南省晋宁磷矿	161	(廿九) 湖北省胡集磷矿大峪口浮选磷精矿	166
(八) 云南省安宁磷矿	161	166
(九) 云南省安宁磷矿	161	(卅) 湖北省黄麦岭浮选磷精矿	166
(十) 云南省安宁磷矿	161	(卅一) 湖北省黄麦岭浮选磷精矿	167
(十一) 云南省尖山磷矿	164	(卅二) 湖北省宜昌樟树坪磷矿 (地下原矿)	167
(十二) 云南省海口磷矿	164	(卅三) 湖北省宜昌樟树坪磷精矿 (地下开采)	167
(十三) 云南省澄江磷矿 (上层)	164	(卅四) 湖北省宜昌樟树坪磷矿 (露采、原矿)	167
(十四) 云南省澄江磷矿 (下层)	164	(卅五) 湖北省保康白竹磷精矿	167
(十五) 贵州省瓮福磷精矿	164	(卅六) 湖北省王集磷精矿	167
(十六) 贵州省瓮福磷精矿	164	参考文献	167
(十七) 贵州省瓮福磷矿磨坊矿段 (b 层矿)	164		
(十八) 贵州省瓮福磷矿大塘矿段 (b 层矿)	164		
(十九) 贵州省瓮福磷矿英坪矿段 (b 层			

第四章 湿法磷酸

第一节 概述	169	图 4-1-7 带导流简单桨单槽 (斯温森) 等温反应系统流程图	172
一、生产方法	169	图 4-1-8 多桨单槽 (契米科) 流程图	173
表 4-1-1 生产方法及工艺专利商	169	图 4-1-9 单槽 (斯特拉瑟) 磷酸生产流程图	173
图 4-1-1 同心圆多桨单槽 (吉科布斯-道尔) 二水物流程图	170	图 4-1-10 双槽 (西方石油公司) 半水物流程图	174
图 4-1-2 方格多槽 (普莱荣第四代) 二水物流程图	171	图 4-1-11 多桨双槽 (诺斯克-海德罗) 半水物流程图	174
图 4-1-3 单桨单槽 (罗纳-普朗克) 二水物流程图	171	图 4-1-12 方槽 (N.K.K.-鲁姆斯) 半水物流程图	175
图 4-1-4 多桨单槽 (诺斯克-海德罗) 二水物流程图	171	图 4-1-13 多槽 (日产公司) 半水-二水再结晶稀酸流程图	175
图 4-1-5 双槽 (辛马斯特和布里耶) 二水物流程图	172	图 4-1-14 多槽 (N.K.K.) 半水-二水	
图 4-1-6 双槽泵循环 (凯洛格-洛普克) 反应系统流程图	172		

再结晶稀酸流程图	176	四元体系的相平衡	183
图 4-1-15 双槽(三菱公司)半水-二水再结晶稀酸流程图	176	图 4-2-2 $\text{CaSO}_4\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 四元体系平衡图	184
图 4-1-16 双槽(厄尔泰)半水-二水再结晶稀酸流程示意图	177	表 4-2-2 不同温度下的 A 及 B 值	184
图 4-1-17 拉森半水-二水再结晶浓酸流程示意图	177	(四) $\text{CaSO}_4\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 体系的转化动力学	184
图 4-1-18 道尔-奥利弗 HYS 流程图	178	表 4-2-3 80°C 时半水物到二水物的转化速度	185
图 4-1-19 诺斯克-海德罗半水-二水再结晶浓酸流程图	178	三、磷矿的酸分解过程及硫酸钙结晶过程	187
图 4-1-20 日产半水-二水再结晶浓酸流程(C法)图	179	(一) 磷矿的酸分解过程	187
图 4-1-21 厄尔泰半水-二水再结晶浓酸流程图	179	(二) 硫酸钙的结晶过程	188
图 4-1-22 N. K. K.-鲁姆斯联合流程图	179	图 4-2-3 75°C 下 30% P_2O_5 磷酸中 $\text{CaO}/\text{SO}_4^{2-}$ 饱和与过饱和图	189
图 4-1-23 辛特雷尔-普莱荣二水-半水再结晶流程图	180	图 4-2-4 H_2SO_4 和磷矿加入磷酸料浆中所发生的变化	189
二、建厂情况	180	图 4-2-5 晶核生成速度与溶液过饱和度的关系	190
表 4-1-2 主要工艺厂商及其生产能力	180	图 4-2-6 溶液过饱和度及温度对结晶过程的影响	190
表 4-1-3 国内湿法磷酸装置建厂表	180	图 4-2-7 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Mg^{2+} 对半水转化过程的影响	192
表 4-1-4 国内湿法磷酸工厂与国外的相比较	181	第三节 湿法磷酸生产对磷矿质量的要求	192
三、产销量及贸易量	181	第四节 工艺流程	193
表 4-1-5 1990~1992 年世界湿法磷酸统计	181	一、方格多槽二水法	193
表 4-1-6 1992 年世界湿法磷酸贸易量	181	图 4-4-1 方格多槽工艺流程图	194
第二节 湿法磷酸生产的基本原理	182	图 4-4-2 过滤系统工艺流程图	194
一、化学反应	182	二、同心圆多桨单槽二水法	195
二、硫酸钙在 $\text{CaSO}_4\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 与 $\text{CaSO}_4\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 体系的相平衡及转化动力学	182	图 4-4-3 同心圆多桨单槽工艺流程图	195
(一) 硫酸钙的结晶形态	183	图 4-4-4 过滤系统工艺流程图	196
表 4-2-1 硫酸钙结晶的某些物理常数及化学组成	183	三、单桨单槽二水法	197
(二) 硫酸钙在 $\text{CaSO}_4\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 三元体系的相平衡	183	图 4-4-5 单桨单槽二水法工艺流程图	197
图 4-2-1 $\text{CaSO}_4\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 体系平衡图	183	四、半水法	198
(三) 硫酸钙在 $\text{CaSO}_4\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$		图 4-4-6 半水法磷酸反应工序工艺流程图	199
		图 4-4-7 半水法磷酸过滤工序工艺流程图	199
		五、半水-二水法	200
		图 4-4-8 半水反应工艺流程图	200
		图 4-4-9 半水过滤工艺流程图	201
		图 4-4-10 半水转化反应过滤工艺流程图	201

第五节 工艺特点及消耗定额	203	四、半水法	215
一、工艺特点	203	五、半水-二水法	216
(一) 方格多槽二水法	203	第八节 物料平衡和热量平衡计算	216
(二) 同心圆多桨单槽二水法	203	一、二水法工艺物料平衡和热量平衡计算	
(三) 单桨单槽二水法	203	(经验方法)	216
(四) 半水法	203	(一) 物料衡算	216
(五) 半水-二水法	204	图 4-8-1 物料平衡框图	217
二、消耗定额	205	图 4-8-2 总物料平衡图	223
(一) 方格多槽二水法	205	(二) 热量衡算	224
表 4-5-1 方格多槽二水物磷酸消耗定		图 4-8-3 反应槽总热量平衡图	227
额	205	二、半水法工艺物料平衡和热量平衡计算	
(二) 同心圆多桨单槽二水法	205	(经验方法)	227
表 4-5-2 同心圆多桨单槽二水物磷酸		(一) 物料衡算	227
消耗定额	205	图 4-8-4 物料平衡框图	228
(三) 单桨单槽二水法	205	表 4-8-1 反应系统物料平衡汇总表 (以	
表 4-5-3 单桨单槽二水物磷酸消耗定额		小时为基准)	233
.....	205	表 4-8-2 反应系统物料平衡汇总表	
(四) 半水法	205	(以 1000kgP ₂ O ₅ 为基准)	
表 4-5-4 半水物磷酸消耗定额	205	233
(五) 半水-二水法	206	表 4-8-3 过滤系统物料平衡汇总表	
表 4-5-5 半水-二水物磷酸消耗定额		(以小时为基准)	233
.....	206	表 4-8-4 过滤系统物料平衡汇总表	
第六节 工艺条件和生产操作控制	206	(以 1000kgP ₂ O ₅ 为基准)	
一、工艺条件	206	233
(一) 方格多槽二水法	206	图 4-8-5 总物料平衡图	234
(二) 同心圆多桨单槽二水法	206	(二) 热量衡算	235
(三) 单桨单槽二水法	207	表 4-8-5 热量平衡汇总表	237
(四) 半水法	207	图 4-8-6 反应结晶系统热量平衡图	
(五) 半水-二水法	207	237
(六) 等温反应器	208	三、二水法工艺物料平衡和热量平衡计算	
二、生产操作控制	208	(以电算程序计算)	238
(一) 二水法	209	(一) 输入数据	238
(二) 半水法	211	(二) 计算结果	239
图 4-6-1 磷矿分解率与磷酸中 SO ₄ ²⁻ 浓		表 4-8-6 物料平衡表	239
度关系	211	表 4-8-7 热量平衡表	241
图 4-6-2 晶核生成速率对过滤速率的		图 4-8-7 二水磷酸反应和过滤部分物	
影响	212	料平衡图	242
图 4-6-3 在真空浓缩过程中磷酸浓度		四、二水法工艺物料平衡及热量平衡计算	
与气相组成的关系	214	(理论方法)	243
(三) 半水-二水法	214	(一) 工艺计算基础数据	243
第七节 装置三废排放指标	215	(二) 计算过程及结果	244
一、方格多槽二水法	215	表 4-8-8 二水物磷酸反应部分热量平	
二、同心圆多桨单槽二水法	215	衡表(以 1000kg 干磷矿为基	
三、单桨单槽二水法	215	准)	254