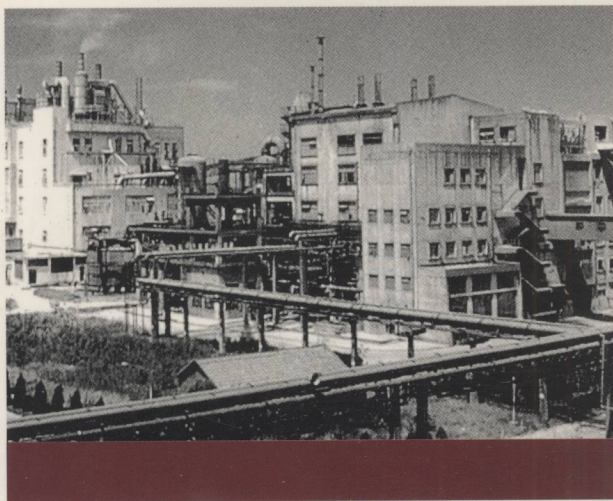


化工工人岗位培训读本

磷肥生产工

张 伟 黄京生 主编



Chemical Industry Press



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

化工工人岗位培训读本

磷 肥 生 产 工

张 伟 黄京生 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

· (京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

磷肥生产工/张伟, 黄京生主编. 北京: 化学工业出版社,
2005. 2

(化工工人岗位培训读本)

ISBN 7-5025-6591-4

I. 磷… II. ①张…②黄… III. 磷肥-生产工艺-化工工人
岗位培训-教材 IV. TQ442

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 004235 号

化工工人岗位培训读本

磷肥生产工

张 伟 黄京生 主编

责任编辑: 周国庆 刘 哲 赵丽霞

责任校对: 李 军

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

http: //www. cip. com. cn

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 11 1/4 字数 299 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6591-4/TQ·2148

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着国内化学工业技术的迅速发展，行业规模不断扩大、高技能、复合型人才就业岗位比重不断增加，但与此相对应的是人才短缺，具有高技能的技术工人明显供不应求。为了满足化工企业技术工人岗位培训及职业技能鉴定的需要，全面系统地开展员工的技术培训工作，提高技术工人的基本素质，增强其在市场经济体制下的竞争能力，有效解决知识更新和人员更替问题，为企业发展提供可靠保障，化学工业出版社组织吉林化学工业公司、南京化学工业公司、燕山石油化工有限公司等单位编写了一套《化工工人岗位培训读本》丛书。

本套丛书的编写人员均为生产一线的具有较丰富实际工作经验的工程技术人员，本着精练、实用的原则，紧密联系化工生产实际，着眼于提高操作人员的实际操作技能和对异常情况的应变处理能力。对与生产过程相关的化学基础、化工基础、化工设备进行简要介绍，对生产工艺技术及其中各单元的操作、控制分析项目等进行较详细的讨论。因此，本套丛书可作为化工行业职业技能鉴定的培训教材。

本书为《磷肥生产工》分册。化肥产品结构中，氮、磷、钾肥形成三大支柱，其中磷肥占有极其重要的地位。近 50 年来，我国磷复肥工业经历了从无到有、从小到大、从低浓度单一养分到高浓度复合肥料的发展过程，磷复肥工业的长足发展，迫切需要建立一支高素质、优秀的职工队伍。

本书共分五章，分别对磷复肥的概况，磷矿加工和几个产品的生产过程、主要设备及工艺操作做了较详尽的阐述。由于磷复肥产品种类较多，限于篇幅，仅选择有代表性的产品。同时为了便于读者的学习和掌握，每章节后还给出了适当的思考题。

本书由中国化工学会化肥专业委员会委员张伟及黄京生主编。其中第1章由黄京生编写，第2章由沙兆全、朱庆年编写，第3章由王耕亚、谭建国编写，第4章由王新江、黄敦成编写，第5章由吴国忠编写。全书由张伟、黄京生、王新江统稿。

因作者水平有限，可能有疏漏不妥之处，欢迎广大读者及专家给予批评指正。

编 者

二〇〇五年一月

内 容 提 要

本书是《化工工人岗位培训读本》之一。考虑到磷肥的生产过程及特点，首先介绍了磷矿及其加工方法；然后重点讨论了过磷酸钙、磷酸及磷酸铵的生产；其中磷酸主要介绍湿法磷酸的生产。详细介绍每一产品生产过程的原理、生产工艺、生产设备、操作及生产分析控制项目等内容，并且对有关环境保护与职业安全及卫生方面内容做了简要介绍。内容具体、实用性较强。其中编有一定的例题，并且在每节内容后面附思考题，便于读者学习。

本书适用于磷肥生产操作工人自学及培训，同时也可作为大专院校有关专业师生的参考书。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 化肥与农业生产	1
1.1.2 植物营养元素与磷肥	2
1.1.3 磷肥的品种	4
1.1.4 发展磷肥对中国农业增产的重要性	6
思考题	7
1.2 磷复肥工业发展简述	7
1.2.1 世界磷复肥工业发展简况	7
1.2.2 中国磷复肥工业的发展概况	12
思考题	19
第 2 章 磷矿及其加工	20
2.1 磷矿	20
2.1.1 磷矿的地质特征及分布	20
2.1.2 磷矿资源与经济分类	21
2.1.3 国内磷矿生产状况	23
2.1.4 磷矿的评价	33
2.1.5 磷矿的接卸、堆放（贮存）与输送	39
思考题	43
2.2 磷矿粉（浆）的制备	43
2.2.1 磷矿粉（浆）制备的目的与要求	43
2.2.2 磷矿粉（浆）制备的工艺流程	44
2.2.3 磷矿粉（浆）制备的主要设备	61
思考题	82
第 3 章 过磷酸钙	84

3.1 概述	84
3.1.1 过磷酸钙的物理、化学性质	84
3.1.2 过磷酸钙的质量标准	84
3.1.3 产品的用途	85
思考题	85
3.2 过磷酸钙生产有关的基础知识	86
3.2.1 过磷酸钙生产中的化学反应	86
3.2.2 过磷酸钙的熟化	94
3.2.3 主要原材料的质量要求	97
思考题	104
3.3 过磷酸钙的生产方法与工艺流程	104
3.3.1 稀酸矿粉法(干法)的生产流程	105
3.3.2 浓酸矿浆法(湿法)工艺流程	120
3.3.3 部分酸化磷矿的生产方法与工艺流程	121
3.3.4 含氟气体的吸收处理	124
3.3.5 造粒与干燥	126
3.3.6 产品的包装与贮存	127
思考题	129
3.4 主要设备	129
3.4.1 混合设备	129
3.4.2 化成设备	133
3.4.3 含氟废气吸收设备	138
3.4.4 其他设备	142
思考题	148
3.5 生产操作	148
3.5.1 工艺条件及其选择依据	148
3.5.2 生产控制与检查	160
3.5.3 混合、化成的开车	167
3.5.4 混合、化成的停车	171
3.5.5 正常操作注意事项	172
3.5.6 不正常现象及处理方法	172
思考题	175
3.6 过磷酸钙主要经济指标	176

3.6.1	产品产量	176
3.6.2	生产中的主要技术分析指标	177
3.6.3	消耗指标	178
	思考题	179
3.7	过磷酸钙生产中的安全、卫生、环保技术	180
3.7.1	过磷酸钙生产中的安全技术	180
3.7.2	“三废”的利用及治理	184
	思考题	190
第4章	湿法磷酸的生产	191
4.1	概述	191
4.1.1	磷酸的性质和用途	191
4.1.2	磷酸的生产方法	194
4.1.3	湿法磷酸的流程分类	196
4.1.4	湿法磷酸生产的原料	197
	思考题	203
4.2	湿法磷酸的生产原理	203
4.2.1	硫酸分解磷矿的主要化学反应	203
4.2.2	硫酸钙在 $\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 体系的相平衡	212
4.2.3	硫酸钙结晶过程	214
4.2.4	磷酸与磷石膏的过滤分离	218
	思考题	220
4.3	湿法磷酸生产的工艺流程	221
4.3.1	二水湿法磷酸生产的工艺流程	221
4.3.2	湿法磷酸生产的其他流程	223
	思考题	225
4.4	主要设备	226
4.4.1	酸解反应槽（萃取槽）	226
4.4.2	过滤机	230
4.5	二水物法的生产操作	235
4.5.1	工艺条件的选择	235
4.5.2	操作控制	238
4.5.3	主要技术指标	246

思考题	248
4.6 湿法磷酸的浓缩	249
4.6.1 浓缩的工艺原理及方法	249
4.6.2 磷酸浓缩工艺流程	251
4.6.3 浓缩的主要设备	253
4.6.4 浓缩系统的操作	258
思考题	261
4.7 湿法磷酸生产中的安全卫生	262
4.7.1 安全生产的一般原则	262
4.7.2 湿法磷酸生产的安全注意事项	262
4.8 湿法磷酸生产中的三废处理和利用	262
4.8.1 污染源及指标	262
4.8.2 污水及废气的处理和利用	265
4.8.3 磷石膏的处理和利用	269
思考题	275
4.9 湿法磷酸生产新工艺	275
4.9.1 普莱昂第四代方格多槽工艺	275
4.9.2 法国罗纳-普朗克单槽单桨湿法磷酸工艺	276
4.9.3 聚晶技术	278
4.9.4 快速酸解技术	279
思考题	280
第5章 磷酸铵的生产	281
5.1 概述	281
5.1.1 磷酸铵的品种及性质	282
5.1.2 磷酸铵生产简述	282
5.1.3 磷酸铵生产原料	285
5.1.4 磷酸铵产品的标准	286
思考题	288
5.2 磷酸铵的生产原理	288
5.2.1 化学反应式	288
5.2.2 氨化料浆的性质	289
5.3 磷酸铵生产的工艺流程	294

5.3.1	料浆浓缩法工艺	294
5.3.2	浓缩磷酸氨化工艺	309
5.3.3	聚磷铵、尿磷铵、硝磷铵、硫磷铵的生产流程	320
	思考题	328
5.4	主要设备	328
5.4.1	中和反应器	328
5.4.2	管式反应器	329
5.4.3	氨化粒化机	331
5.4.4	破碎机	332
5.4.5	返料喷浆造粒干燥机	333
5.5	生产操作（以管式反应器-转鼓氨化造粒流程为例）	334
5.5.1	系统开车	334
5.5.2	系统停车	338
5.5.3	正常生产操作要点	338
5.5.4	不正常现象原因及处理方法	339
5.6	安全环保	340
5.6.1	安全生产注意事项	340
5.6.2	生产气体净化流程与设备	341
	参考文献	344

第 1 章 绪 论

1.1 概述

1.1.1 化肥与农业生产

农业是国民经济的基础，也是人类生存的基础，而化肥则是农业的基础，是粮食的粮食。统计资料表明：世界粮食产量的 1/3 是靠化肥增产的，故而世界化肥总消费的 55% 是用于粮食作物。中国有地少人多的国情，对化肥的依赖程度又怎样呢？

1995 年，美国的布朗（Brown）先生及西方的一些专家曾对 21 世纪中国人能否养活自己提出质疑。他们是基于中国工业化开始前已有庞大的人口压力，而耕地面积随着工业化发展还在不断减少以及现有大面积耕地土壤质量正在退化的情况下提出来的。应该说，这种担心是有一定道理的。

中国的科学家在精辟分析肥料在粮食生产中的重要作用、肥料生产使用现状的基础上得出一些结论，同时也给布朗先生等西方学者一个满意的回答：①中国在现有的 20 亿亩土地（包括复种指数）条件下能养活 13 亿人口，化肥功不可没。中国粮食生产的自然条件（光、热、水、土）比印度差，粮食播种面积比印度小（88：100 百万公顷），但粮食总量却超过印度 1 倍以上。究其原因中国的施肥量是印度的 1 倍以上（165：70 公斤养分/公顷）。目前中国生产的 2/3 化肥用于粮食生产，高于世界化肥用于粮食的比例。②通过努力增产化肥和科学合理地施肥，到 2050 年，即使全国有 18 亿亩耕地，仍可增产粮食 2.3 亿吨。按较保守的估计，养活 15 亿~16 亿人口应该是乐

观的。

1.1.2 植物营养元素与磷肥

国际植物营养学会的专家们认为，植物必需的营养元素应具备三个特征，即：①对植物生长或生理代谢有直接作用；②缺乏其中任何一种元素时，植物都不能正常生长发育；③其生理功能不能用其他元素来代替。鉴于此特征，对植物生长所必需的营养元素界定为 16 种，它们是碳（C）、氢（H）、氧（O）、氮（N）、磷（P）、钾（K）、钙（Ca）、镁（Mg）、硫（S）、铁（Fe）、锰（Mn）、锌（Zn）、铜（Cu）、钼（Mo）、硼（B）和氯（Cl）。

根据营养元素在植物体内含量的多少，一般又将其分为主要养分（也称大量营养元素）、次要养分（中量营养元素）和微量养分（微量营养元素）三大类。大量营养元素包括碳、氢、氧、氮、磷、钾 6 种元素，它们在植物体干重中的含量（除磷以外）均在 1% 以上。中量营养元素包括钙、镁、硫 3 种元素，它们在植物体内的平均干重含量^①在 0.1%~0.5%。余下 7 种为微量营养元素，其干重含量小于 0.1%。

碳、氢、氧三种元素一般占植物体干重的 95% 以上，它们通常是由植物从阳光、空气和水中获取的。此外，大量营养元素中的氮、磷、钾由植物从土壤中摄取，而土壤中有效形态且易被植物吸收的氮、磷、钾一般较少，往往成为限制植物增产的主要因素，需要通过施肥加以补充。故而人们又常将氮、磷、钾称为“植物营养三大要素”。

氮是植物体中许多有机化合物的组成成分。例如蛋白质（含 N16%~18%）、核酸（含 N15%~16%）、叶绿素、酶、维生素、生物碱和激素等都含有氮。

钾以离子形态参与植物体内的生理生化作用。如可加快各种新陈代谢，对酶起活化作用，促进 ATP 合成，加快光合作用及其产

① “含量”一词，若无特殊说明，均指质量分数。

物（如糖和淀粉等）的转移，从而提高作物的产量和品质。

磷在植物体内的含量除碳、氢、氧以外，仅次于氮和钾，一般在种子中含量最高。植物体内许多重要的有机化合物都含有磷，即使有些化合物不含磷，但在其形成和转化过程中，都必须有磷参加，下面详述之。

① 磷是作物体内细胞的构成元素，存在于染色体内，是细胞分裂和分生组织发育不可少的物质。磷又是核酸的主要组分，而核酸是细胞核和原生质的主要成分——核蛋白的重要组分。故磷有促进植物根系发育、幼苗健壮生长以及新器官形成的作用。在作物生育期间，充分供给磷素，有利于细胞分裂、增殖和保持优良品种的遗传特性。

② 磷脂不仅和糖脂、胆固醇等物质构成原子质的生物膜——细胞壁，而且较多地积累于植物的种子内。在种子萌发后，磷脂以植酸（环己六醇磷酸酯的钙镁盐）的形态水解、释放出磷酸供幼苗利用。

③ 植物体内有许多复杂的含磷化合物，如腺嘌呤核苷三磷酸（ATP）、各种脱氢酶、转氨酶、辅酶等。ATP 是高能磷酸化合物，当水解时可释放大量能量，供作物需要，而当作物在光合作用中有多余能量时，可由 ATP 贮存起来。

④ 磷参与植物体内的碳水化合物、含氮化合物、脂肪等代谢作用。如光合磷酸化作用，将日光转化为糖并进一步合成为蔗糖、淀粉以及纤维素等。故施用磷肥有利于植物体内干物质的积累，对谷物籽粒饱满、对块根和块茎作物增加淀粉、对浆果和甜菜积累糖分都有良好作用。又如氮化合物的代谢，转氨酶的辅酶中就含有磷酸。合成蛋白除氮素外，还需要有机酸，它是作物呼吸作用的产物，故作物的呼吸也离不开磷。

⑤ 磷能提高作物的抗逆性和适应性。磷能提高细胞中原生质胶体的水合程度，增加原生质胶体的持水能力，使水分不易丧失。同时磷也能促进根系发育，使根伸入较深土层吸收水分，因而可提高作物的抗旱能力。

⑥ 磷能提高植物体内可溶性糖的含量，使细胞原生质的冰点

下降，含可溶性糖较多的作物能在较低温度下保持原生质处于正常状态，增强抗寒能力，故对越冬作物增施磷肥可以做到减轻冻害。

⑦ 增加磷素还可提高植物体内以磷酸二氢钾和磷酸氢二钾为主的无机态磷酸盐含量，它们在细胞里起缓冲作用，使原生质的酸碱度保持在比较稳定的范围，有利于作物的正常生长和发育。缓冲作用在 pH 值为 6~8 范围内最强，故在碱性土壤中施用磷肥可提高作物的抗碱能力。

⑧ 新吸收的磷酸盐经常向代谢作用旺盛的幼嫩部分集中，如此多次转移，生长后期大部分磷酸盐进入种子。作物吸磷越早，对作物生长作用越大，故磷有促进作物早熟的功能。磷肥作为种肥尽早给植物用的同时，磷的再利用率也得以提高。

1.1.3 磷肥的品种

1.1.3.1 磷肥的分类

磷肥的品种繁多，分类相应也较复杂。

按化学组成分类，磷肥可分为单一磷肥、二元磷肥、三元磷肥和含中、微量元素的多元磷肥。如三元磷肥同时含有氮、磷、钾三种基本有效元素。磷铵硼则不但含氮、磷，还同时含有微量元素硼。

按有效含磷化合物的可溶性分类，磷肥可分为水溶性和枸溶性两种，后者按有效磷提取液又可分为 2% 柠檬酸溶性和中性柠檬酸铵溶性两种类型。对作物而言，水溶性磷和枸溶性磷都是可以吸收的，因而加起来统称为有效磷。

按有效物质含量分类，磷肥可分为高含量（有效成分高于 45%）、中含量（有效成分为 30%~45%）和低含量（有效成分不大于 30%）等。

按生产方法分类，磷肥又可分为复合肥料、复混肥料和掺混肥料。

而按生产工艺分类，磷肥可分为酸法和热法两大类，这是一种

世界各国用得较多的分类方法。酸法磷肥通常指用硫酸、磷酸、盐酸和硝酸分解磷矿制成的磷肥和含磷复合肥的通称。这类肥料多属水溶性速效肥，在生产上所占比例较大。热法磷肥是指以热化学方法在高温（ $>1000^{\circ}\text{C}$ ）下加入（也有不加）部分配料分解磷矿制得的磷肥。这类肥料为非水溶性磷肥，但肥效持久，不易流失或被土壤固定，因而肥料的总利用率较高。在硫资源缺乏而能源供应充足的地区，可以考虑发展热法磷肥。

1.1.3.2 磷肥的主要品种和性质

磷肥的主要品种和性质见表 1-1。

表 1-1 磷肥的品种和性质

名 称	主要有效组分	有效 P_2O_5 含量/%	酸碱性	有效磷提取液
酸法				
部分酸化磷矿	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	>8	酸性	2%柠檬酸
普通过磷酸钙	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	12~20	酸性	碱性柠檬酸铵
氮化过磷酸钙	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	14~20	中性	
富过磷酸钙	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	25~35	酸性	
重过磷酸钙	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	42~46	酸性	中性柠檬酸铵
超重过磷酸钙	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	54		
磷酸氢钙	$\text{CaHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	18~30	中性	中性柠檬酸铵
热法				
钙镁磷肥	$\alpha\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	12~18	碱性	2%柠檬酸
钢渣磷肥	$\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot \text{CaSiO}_3$	14~18	碱性	2%柠檬酸
钙钠磷肥	CaNaPO_3	19~23	碱性	中性柠檬酸铵
脱氟磷肥	$\alpha\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaNaPO}_3$	20~42	碱性	中性柠檬酸铵
偏磷酸钙	$\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$	64~68	碱性	中性柠檬酸铵

含磷复合肥的主要品种见表 1-2。

表 1-2 含磷复合肥的主要品种

名 称	主要有效组分	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 成分
磷酸铵类		
磷酸一铵	NH ₄ H ₂ PO ₄	10-50-0, 10-52-0
磷酸二铵	(NH ₄) ₂ HPO ₄ , NH ₄ H ₂ PO ₄	18-46-0, 16-48-0
硫磷酸铵	NH ₄ H ₂ PO ₄ , (NH ₄) ₂ SO ₄ , (NH ₄)HPO ₄	13-13-13, 14-28-14
硝磷酸铵	NH ₄ H ₂ PO ₄ , (NH ₄) ₂ HPO ₄ , NH ₄ NO ₃	14-14-14, 17-17-17
尿素磷酸铵	NH ₄ H ₂ PO ₄ , (NH ₄) ₂ HPO ₄ , (NH ₄) ₂ CO	22-22-19, 19-19-19
多磷酸铵	(NH ₄) _n % P _n (O _{3n+1}), (NH ₄) ₂ HPO ₄	10-34-0, 15-62-0
偏磷酸铵	NH ₄ PO ₃	12-60-0
硝酸磷肥		
冷冻法	NH ₄ H ₂ PO ₄ , CaHPO ₄ , NH ₄ NO ₃	15-15-15, 17-17-17
混酸法	NH ₄ H ₂ PO ₄ , CaHPO ₄ , NH ₄ NO ₃	11-11-11, 14-14-14
碳化法	CaHPO ₄ , NH ₄ NO ₃	13-11-12
磷酸钾类		
磷酸二氢钾	KH ₂ PO ₄	0-47-31
偏磷酸钾	KPO ₃	0-55-37

1.1.4 发展磷肥对中国农业增产的重要性

农业生产是一个能量与物质的转化和循环过程，这种转化和循环大部分随着农产品的收获而转移到社会的各个方面，因此必须将必要的能量与物质作为补偿再投入。有资料统计，各种补偿中，化肥约占 50%，而对农业增产所起的作用约占 40%，故而使用化肥是提高粮食单产的极其重要的一种措施。

当前，中国施用的化肥中，氮肥用量较多，而磷肥、钾肥的用量较少，氮磷钾比例严重失调。这种多氮少磷缺钾的现状已成为制约农业增产的主要影响因素。虽然磷复肥近年来发展很快，但仍然不能满足农业的需求。据统计，2002 年国产化肥的氮磷钾比例为 $m(\text{N}) : m(\text{P}_2\text{O}_5) : m(\text{K}_2\text{O}) = 1 : 0.42 : 0.30$ ，但仍低于国