

专题报告

料浆法磷铵生产工艺发展与五大磷肥工程改造

钟本和

(四川大学, 成都 610065)

[摘要] 针对引进磷酸浓缩工艺生产磷铵的技术不适应我国矿产资源具体情况的难题, 开发了料浆法磷铵生产工艺技术, 已在 21 个省区布点推广建设了 87 套装置, 形成生产能力 279×10^4 t/a 的规模, 占全国磷铵生产能力的 60%。最近在贵州瓮福实施料浆法磷铵与引进的传统磷酸浓缩工艺联产的成功, 为五大磷肥工程的改造提供了一条新的途径。

[关键词] 磷肥; 磷铵; 料浆法磷铵

[中图分类号] TQ444.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)06-0022-04

我国已经探明的磷资源保有储量 132.4×10^8 t, 居世界第三位; 磷肥产量 (以 P_2O_5 计, 下同) $800 \times 10^4 \sim 850 \times 10^4$ t/a, 占世界磷肥产量的 24%, 居第二位; 年消费量达到 $900 \times 10^4 \sim 950 \times 10^4$ t, 占世界磷肥消费量的 27%, 居世界第一位。近 10 年来我国磷肥生产得到很大的发展, 年产量从 416×10^4 t 增加到 805×10^4 t, 平均每年递增 6.8% (图 1)。磷肥自给率从 70% 提高到 85%。其中, 高浓度磷复肥的比重从 9% 提高到 45%, 年产量从 38×10^4 t 提高到 368×10^4 t, 平均每年递增 25% (图 2)。产品结构调整取得了显著成效, 提前 3 年实现了“十五”发展计划目标。

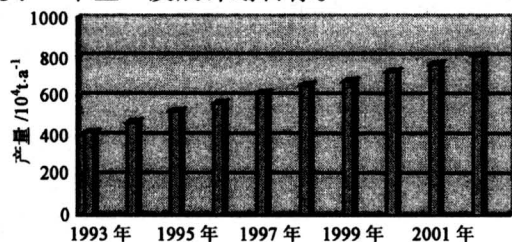


图 1 我国磷肥产量增长情况

Fig.1 Yearly increments of phosphate fertilizers in China

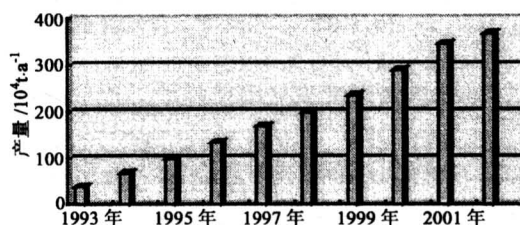


图 2 1993—2002 年高浓度复肥的产量

Fig. 2 Yearly increments of high concentration complex fertilizers between 1993—2002

但与上述形势不相称的是, 国家耗巨额资金引进的, 于 90 年代中期建设、后期投产的湖北黄麦岭、大峪口, 广西鹿寨, 贵州瓮福和云南大黄磷五大磷肥工程出现了挫折。多头重复引进、投资过大和资源配置不当, 产品方案不合理等诸多方面的问题, 导致建设项目投资由 55 亿元猛增至 182 亿元, 每 t 实物产品投资高达近万元, 投资回收率和预期收益率大幅度下降, 亏损严重。其中, 大峪口工程自建成试生产 2 年多后就一直停产, 其他 4 个项目年亏损达 15 亿元, 最近温家宝总理和黄菊、曾培炎、回良玉副总理对此做了重要批示, 政府主管部门正在制定相应的解决方案和措施。经过认真学习

[收稿日期] 2003-10-27

[作者简介] 钟本和 (1937-), 女, 四川达州市人, 四川大学化工系教授, 博士生导师

国家领导人的批示，深感总结五大磷肥工程的教训很有必要。笔者从我国磷肥工业结构调整和发展料浆法磷铵生产工艺角度发表一些看法。

1 大规模引进高浓度磷复肥生产工艺技术的回顾

我国高浓度磷复肥生产装置的大批量建设是从20世纪80年代开始的，当时四川大学（原成都科技大学）等单位研究开发的“料浆法磷铵”生产工艺技术虽已进入工业化阶段，但国内生产建设急需的生产工艺技术（专利）和大型关键设备仍依靠从国外引进为主。因此，政府决策部门和一些大型企业首先把目光转向国外并无不妥。但据不完全统计，到上世纪90年代后期国内磷肥工业共引进多达47套装置（包括5套氟化铝装置），几乎涵盖了世界上所有的磷肥生产工艺技术。这些装置有些是从工艺技术到生产设备成套引进的；有些则是外商提供专利（软件包或基础工程设计），或与外商合作完成基础工程设计，由国内独立承担详细工程设计，并与外商合作在国内外采购关键设备的。以高浓度磷酸工艺而言，先后引进了包括法国R-P单槽和双槽工艺技术、比利时Prayon多格方槽工艺技术、美国Jacobs单槽多浆工艺技术、美国Badger等温反应器工艺技术等4项多套二水法工艺技术，以及美国西方石油公司和挪威Norsk Hydro的半水法、半水一二水法工艺技术。经验证明，为了解决现代化学工业发展所必需的生产装置大型化问题，在一段历史时期内引进国外化工生产技术和一些关键设备，以提高国内化工装置的先进性、可靠性和发展速度是十分必要的。但是绝不能因此大量成套重复引进，否则必定会受到“食洋不化”的惩罚。大规模引进虽然买来了世界一流的生产工艺技术和装备，但惊人的花费导致建设费用和投产后产品成本居高不下。由于部分产品结构不合理，工期长，贷款利率高，以及汇率、设备材料价格等因素的变化，导致资产大量“虚增”，以致建成投产后经营亏损，甚至连维持简单再生产都深感困难，终于使这些企业从“引进国外技术的倡导者”变成“盲目引进国外磷肥生产技术的受害者”。这与四川大学等单位同期开发成功的“料浆法磷铵”生产工艺技术在国内获得的快速发展和完善形成了鲜明的对照。

2 “料浆法工艺”更适合中国国情

2.1 传统“磷酸浓缩”与“料浆浓缩法”

西方发达国家在高浓度磷复肥生产过程中大量采用传统的“磷酸浓缩”生产工艺。这种工艺是将中间产品低浓度湿法磷酸蒸发浓缩后，再与氨中和形成料浆，直接造粒干燥得到产品。“磷酸浓缩”工艺要求以高品位优质磷矿为原料。我国虽然磷矿资源丰富，但大部分是难选的中低品位胶磷矿。多年试验证明，这类国产中品位原矿不适合“磷酸浓缩”工艺。我国于1966年在南京化学工业公司磷肥厂建成一套采用“磷酸浓缩”工艺的年产 1.5×10^4 t磷酸、 3×10^4 t磷铵的工业装置，连续运行至今磷酸装置生产能力已达 4×10^4 t/a，磷铵装置已被 24×10^4 t/a的硫基复合肥装置所取代。该装置曾经出现过如下问题：a. 采用有害杂质含量较高的国产中品位磷矿（原矿）为原料时磷酸的质量分数（以 P_2O_5 计）很难达到48%~50%，磷酸加热器管内壁结垢严重，2~3天必须停车清洗，垢层坚硬致密，不易清除；b. 采用的“喷浆造粒干燥流程”在工艺和装备上也未过关，造粒机几乎每天必须停车清除结疤物料，后来不得已改为“转鼓氨化造粒-转筒干燥流程”。由于计划和技术原因，直至80年代初国内高浓度磷复肥的产量还不足磷肥总产量的1%，严重制约了我国磷复肥工业的现代化进程^[1,2]。四川大学和原银山磷肥厂等单位针对传统“磷酸浓缩”工艺不适应我国具体国情的难题，在20世纪70至80年代初进行了大量的基础研究和中试规模的开发研究。其技术核心是，先以氨中和稀磷酸，制得的中和料浆再进行蒸发浓缩，从而避开了“磷酸浓缩”的困难，并由此形成一系列更具优势和特点的料浆法制磷铵新工艺^[2,3]。

2.2 “料浆法工艺”适合国情

“六五”期间，四川大学等单位在确立了“料浆法工艺”核心部分的理论基础上，与原银山磷肥厂合作在中试阶段打通了二水湿法磷酸一槽式氨化—料浆双效开路循环浓缩—浓缩料浆离心喷雾并流干燥生产粉状磷酸—铵产品的流程。其后又将中试成果逐步工业化和大型化，最终在国内得到了大面积推广。现在的“料浆法工艺”实际上已经是一个完整的化工生产过程的代表名称，不仅包括其中的核心单元浓缩工艺技术成果，还包括涉及生产过程的所有单元操作技术装备及材料的研制、放大和完

善^[4]。20多年来,它的发展、完善和提高是一个巨大的系统工程,获得了国家前后4个五年计划重点科技攻关项目和国家自然科学基金的大力支持。

“七五”期间,四川大学与银山磷肥厂、南化公司设计院合作,进行了浓缩磷铵料浆的“喷浆造粒干燥工艺”生产粒状磷铵的中试,打通了可大规模推广的“二水湿法磷酸—稀磷酸氨中和—中和料浆闭路循环双效浓缩—喷浆造粒干燥制粒状磷铵”的基本流程,其粒状产品适宜于机械化施肥,彻底解决了我国在喷浆造粒生产复合肥料方面存在的工艺和装备问题。在此基础上,又完成了“年产 3×10^4 t料浆法磷铵”国家重点工业试验项目,为工程放大、装备成套化、定型化获得了完整的工程参数和技术经济数据,为全国大面积推广奠定了基础。因此,国家最终选择“料浆法工艺”为全国小磷肥企业产品升级换代的主要工艺路线^[5]。

为了进一步完善和提高“料浆法工艺”的技术水平并实现装置大型化和国产化,“八五”、“九五”期间四川大学等单位以四川硫酸厂原年产 6×10^4 t料浆法磷铵装置为依托,进行了大型化关键技术及装备的攻关,装置规模扩大到年产 12×10^4 t,取得圆满成功,并在山东鲁北化工总厂建设了 15×10^4 t/a大型料浆法磷铵装置,于1999年顺利投产,目前生产能力已经大幅度超过设计能力。多年来结合装置大型化攻关和大规模推广过程中不断出现的新问题和新思路,四川大学在国家自然科学基金资助下,对我国中品磷矿的物相组成,酸解动力学,磷铵料浆流变学进行了研究。对萃取磷酸、料浆过滤、磷铵料浆物性、造粒分级等单元过程的机理等有了更深入的了解,使“料浆法工艺”的每一个单元过程都有改进和创新^[6]。如:

1) 在二水湿法磷酸生产的萃取反应过程中,开发了“综合强化热平衡技术”,使磷酸反应器生产强度成倍提高;开发的提高酸解料浆液固分离过滤强度的助滤剂,使中低品位磷矿生产湿法磷酸的主要矛盾得以缓解;采用“小循环”技术处理磷酸污水,实现了污水封闭循环。

2) 在稀磷酸氨中和过程中,先后开发了“外环流快速氨化反应器”、“中和浓缩一体化”和“稀酸管式反应”技术。最近成功开发的“强制循环氨化蒸发反应器”,综合了以往各种反应流程的优点,具有高效节能、运行稳定、流程简短、环保清洁等显著特点^[7,8]。

3) 在核心单元料浆浓缩过程中,先后开发成功了节能高效的“强制闭路循环蒸发”流程和“无泵过料”、“无泵喷浆”技术,使流程简化并提高了开车率。最近开发的“中和蒸汽二次利用节能”技术,使浓缩蒸汽消耗降低了21%，“料浆法工艺”低能耗的特点更加显著。

4) 在浓缩料浆造粒干燥过程中,开发的“内返料内筛分内破碎”技术,割除了造粒干燥系统庞大的返料装备,减少了粉尘损失,改善了操作环境,提高了装置开车率。通过完善、强化干燥机的热风、尾气系统,大大提高了装置生产强度^[9]。

5) 根据市场发展需要,优化、放大、强化了“压力喷雾—流化床逆流干燥制粉状磷铵”的干燥工艺,为高浓度复合肥厂提供了含水量极低的粉状磷铵产品,丰富了“料浆法工艺”产品品种^[10]。

6) 利用新型反应器的特殊优势,开发成功优质低耗的“料浆法磷酸二铵”工艺,使“料浆法工艺”的产品品种覆盖所有磷铵产品。开发的“节硫型磷铵”新技术,可降低磷铵产品硫酸单耗10%左右,在外部条件适合的企业,效益十分显著。

综上所述,从建厂条件、原料适应性、装置投资、扩能改造、能源消耗、产品成本等各方面看,“料浆法工艺”比传统的“磷酸浓缩工艺”在技术经济方面具有整体优势,更适合中国的国情。

3 用“料浆法磷铵生产工艺”改造五大磷肥工程

中国国际咨询公司总结五大磷肥工程教训时^①,对多头引进世界上几乎所有的磷肥生产工艺技术并将五大磷肥工程变成了世界磷肥生产工艺技术的“万国博览会”的问题提出了严厉的批评。但从另一个角度看,如何使五大磷肥工程起死回生走出困境,则是现在亟需解决的重大课题。

四川大学提出了2种具体方法:一是磷酸二铵装置已经投产的企业,如贵州瓮福,可采取磷酸二铵和“料浆法”磷酸一铵联产的办法,扩大生产能力,增加产品品种;二是利用已有湿法磷酸生产能力,采用“料浆法”磷铵技术,以当地中品位磷矿为原料生产磷酸一铵和氮、磷、钾复合肥,如湖北大峪口。其中“传统法”磷酸二铵和“料浆法”磷

① 中国国际咨询公司. 我国磷肥工业发展的政策建议. 投资决策咨询专刊, 2003, (1)

酸—铵联产方案已经在贵州瓮福成功实施。具体做法是，利用稀磷酸生产和浓缩过程产生的淤渣和淤酸，或者将磷酸二铵尾气洗涤改用稀磷酸洗，以尾气洗涤液为原料，采用“料浆法”磷铵技术生产粉状磷酸—铵。根据原料稀磷酸中的淤渣量的多少，可以生产出符合国家标准合格品至优等品粉状磷酸—铵。这样既保证了磷酸二铵的正常生产和质量要求，又充分利用了淤渣和淤酸，改善了磷酸二铵的尾气洗涤状况，一举两得。从2001年10月至2003年7月，四川大学在贵州瓮福先后建设2套 20×10^4 t/a料浆法磷酸—铵装置，均一次投料试车成功，迅速达到设计能力，获得显著经济效益。

为了解决五大磷肥工程存在的问题，前国家计委、经贸委和石油化工局，以及云南、贵州、广西和湖北等省区已经做了大量工作。四川大学希望有关部门在新的投资决策中能考虑下述建议：

1) “料浆法”磷铵技术引入引进的五大磷肥装置或两者嫁接。“料浆法”与“传统法”联产嫁接技术总结起来有以下优越性：**a.** 利用萃取磷酸、浓缩磷酸、商品磷酸生产过程中的淤渣，扩大了原装置磷酸生产能力，降低消耗；**b.** 每t磷酸—铵的氨耗较磷酸二铵降低近一半，这对没有配套合成氨的引进装置是一种减少氨用量的有效措施，克服因氨供应不足造成装置停车损失；**c.** 增加一种物性好、成本低、质量高的大宗粉状磷酸—铵产品，它是制复合肥和各种专用肥的主要原料，具有广阔的市场；**d.** 用很少的资金投入，大幅度增加企业的生产规模，降低引进装置巨额投资对企业的沉重压力；**e.** 促进磷酸二铵生产装置稳产高产和节能降耗；**f.** 大幅度降低单位产品蒸汽消耗和总能耗；**g.** 联产装置可集中采用“料浆法”工艺近年来取得的各项技术成果，使其技术经济指标跃居国内外领先水平。^[11,12]

2) 在开发利用磷矿的同时，加强在我国磷矿资源中占绝大多数的胶质磷矿的选矿研究工作，在磷矿的利用率和降低选矿成本上下功夫，保护好不可再生的磷资源。磷矿作为磷复肥生产的原料，在很大程度上决定了装置的生产能力、技术经济指标和效益。选矿只有把成本控制在可接受的范围内才能对装置产生效益，否则不如用原矿。这里要特别指出，“料浆法”工艺既适合精选矿（可以获得与传统“磷酸浓缩工艺”相媲美的生产能力和更好的技术经济指标），又适合中品位原矿（如湖北大峪

口），两种磷矿均能生产出符合国家标准的磷铵产品且效益好，这是“磷酸浓缩工艺”不能企及的。

“料浆法”工艺从开发成功至今已有20年，由于各级政府及主管部门的大力支持，取得了大量成果，实现了产业化、大型化和装备国产化，使这一符合国情、具有自主知识产权的技术成为我国磷复肥生产的主要技术路线，是国家在化肥领域的重点推广成果之一。“七五”以来在全国投资约40亿元，共建设年产 3×10^4 t磷复肥装置87套，年产 6×10^4 t装置2套，总计 279×10^4 t/a的生产能力。“九五”以来建成年产 15×10^4 t和 20×10^4 t装置各2套。目前虽然部分中小规模装置改产硫基复合肥得到较好的经济效益，有一部分因资源、体制、债务、管理等原因停产，但也有一部分装置从 3×10^4 t/a规模扩大至 15×10^4 t/a ~ 24×10^4 t/a规模，因此总生产能力保持在 300×10^4 t/a左右，约占我国磷肥总生产能力的20%，磷铵生产能力的60%，撑起了我国高浓度磷复肥工业的大半江山。料浆法磷铵在利用本国资源发展高浓度磷复肥，改善化肥生产和氮磷钾比例失调，促进磷肥工业和农业现代化，替代进口、节约外汇，平抑进口磷复肥价格等方面都发挥了重要作用。希望决策主管部门充分认识这一工作具有的开创性和前瞻性，给予政策和资金上的支持，使“料浆法”磷铵技术得到提升和优化，成为盘活五大磷肥工程和其他引进装置的有力措施，促进我国磷复肥工业可持续发展。

参考文献

- [1] Zhong Benghe, Zhang Yunxiang, Wang Jianhua. Production of Ammonium Phosphate by Ammoniated Slurry Concentrating Process[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1997. 183~195
- [2] Zhong Benhe, Li Jun, Zhang Yunxiang, et al. Principle and technology of ammonium phosphate production from middlequality phosphate ore by a slurry concentration process[J]. Ind Eng Chem Res, 1999, 38:4504~4506
- [3] 应建康, 钟本和, 张允湘. 料浆法磷铵工艺的技术经济优势[J]. 磷肥与复肥, 1997, 12(4): 1~5
- [4] 曾宪坤. 中国磷复肥工业的发展和展望[J]. 磷肥与复肥, 2000, 15(1): 1~5
- [5] 谭竹州. 开足马力 增产磷铵 为支援农业生产再作新贡献[J]. 磷肥与复肥, 1995, 10(1): 1~4

(下转第34页)

zone extends along the Xiangxi River northward and ends at the Qingfeng fault. It runs southward across Yuyanguan Pass and then its trace is unknown. Total length of the fault zone is more than 220 km. The fault zone has tectonic condition for occurrence of M 6 earthquake. The possible seismic risk for the dam may come from these two strong seismogenic zones, thus the seismic intensity influencing the dam was estimated to be $6^{\circ} \sim 7^{\circ}$ and the horizontal peak acceleration to be $0.1 \sim 0.15 g$.

[Key words] Three-Gorges Dam on the Yangtze River; Huangling block; strong seismogenic zone; crustal stability

(上接第 25 页)

- [6] 钟本和,张允湘,应建康.料浆法磷铵工艺的发展与展望[J].四川大学学报,2003,35(2):1~5
- [7] 刘期崇,张允湘,王建华.料浆法磷铵生产中的外环流氨化反应器及工艺研究[J].磷肥与复肥,1995,10(2):50~56
- [8] 刘期崇,夏代宽,段天平,等.外环流氨化反应器数学模型及其放大[J].化工学报,2000,51(1):77~83
- [9] 雷明光,陈文梅,刘玉良.喷浆造粒内分级内返料技术在转鼓造粒工艺中的应用研究[J].四川大学学报(工程科学版)2000,32(4):37~40
- [10] 付育街,陈朝瑜,刘钟海,等.喷雾流化干燥在磷铵干燥中的应用[J].化肥工业,1987,24(2):32~35
- [11] 陈瑜,应建康,钟本和,等.引进 DAP 装置与国产 MAP 装置联产的工艺技术[J].化工进展,2002,21(12):937~949
- [12] 应建康,陈瑜,钟本和,等.200 kt/a 料浆法粉状 MAP 生产装置的技术创新[J].磷肥与复肥,2003,18(1):24~26

Development of ASCP for Ammonium Phosphate Technology and Five Projects of Phosphate Fertilizer in China

Zhong Benhe

(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

[Abstract] The production of ammonium phosphate by “ammoniated slurry concentrating process” (ASCP) developed by Sichuan University etc. has solved the difficulty that China’s low grade phosphorus ore is not suitable for the imported “phosphoric acid concentrating process” (PACP). 87 plants employing ASCP have been built with a total capacity of 2.79×10^6 t/a, which is 60% of the total ammonium phosphate production in China. Recently, a technique for ammonium phosphate production combining both ASCP and the imported PACP has been developed and put into operation in Wengfu of Guizhou Province. The new process with independent property right has been adopted in the five updating projects of phosphate fertilizer in China.

[Key words] phosphate fertilizer; ammonium phosphate; ammonium phosphate by ASCP