

我国无机磷化工的发展现状

钟本和,王幸龙,黄美英,唐红
(四川大学化工学院,四川成都610065)

摘要:提出了我国无机磷化工的发展方向,完善有效利用中低品位磷矿的全套工程化技术,解决当前磷化工行业发展面临的重大问题。完成窑法磷酸的基础研究及工程化研究,开发低品位磷矿直接生产高浓度磷酸的新工艺,为我国低品位磷矿利用提供技术支撑;开展高纯磷化工产品的应用基础研究和产品研发,创立我国高纯磷化工产品的新体系和全套工程化技术体系,调整产业布局,提升产品质量;加强磷石膏利用研究,推进循环经济发展与节能减排,提升磷化工行业对环境的和谐性。

关键词:磷化工;现状;磷酸

中图分类号:TQ126.35

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2010)05-0011-05

Current situation of inorganic phosphochemical industry in China

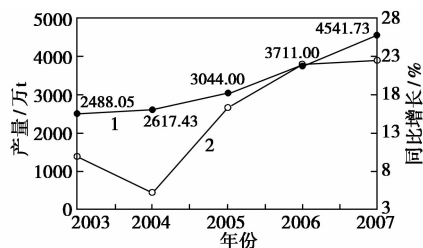
ZHONG Ben-he, WANG Xing-long, HUANG Mei-ying, TANG Hong
(School of Chemical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The developing direction of China's phosphochemical industry is pointed out so as to complete the whole technological set for utilizing middle and low grade phosphorous ore, which is the very problem faced by the industry nowadays. The completion of basic and industrialization research of kiln production process and using low grade phosphorous ore to produce highly pure phosphoric acid will surely give technological support to the utilization of low-grade phosphorous ore in China. Meanwhile, the basic applied research and development of new high-purity products, and establishment of products system and the whole technological set for them must be done to adjust industrial frameworks and improve on products' quality. The strengthening of the research for phosphorus gypsum utilization can push forward the circular economy, energy-saving and discharge-reducing, and bring phosphochemical industry and the environment into a kind of concordance.

Key words: phosphochemical industry; current situation; phosphoric acid

1 发展现状

磷作为作物生长的三大必须元素之一,对农业的发展和粮食的增产,保证人民生活水平的提高具有重大的作用。随着经济全球一体化进程的加快和近年来我国磷化工行业的蓬勃发展,作为磷化工产品生产的重要原料——磷矿资源的需求也与日俱增,年产量大幅增加。图1为2003—2007年我国磷矿石产量及增长比率变动趋势图。



1—产量;2—同比增长

图1 2003—2007年我国磷矿石产量及增长比率变动趋势图

由图1可以看出,2007年我国磷矿石产量为4 541.73万t,比2003年的2 488.05万t增长了

82.54%。磷矿需求的高速增长,使磷矿资源紧缺的问题日渐突出。

磷矿是一种不可再生的宝贵资源,尽管我国的磷矿资源丰富,已探明的资源总量仅次于世界磷矿资源大国摩洛哥,位居第2,但与世界有关国家相比,在矿石质量、可选性和磷矿开采等方面都存在较大的差异。据2002年底相关统计:全国磷矿资源总量为167.86亿t,其中可采储量仅占资源总量的12.6%,加之我国磷矿平均品位较低(仅16.95%),适宜湿法磷酸生产磷肥的磷矿(品位30%左右)储量仅有11.08亿t,中、低品位磷矿中85%以上是不易精选的胶磷矿,因此我国磷矿资源在数量上虽富,但品位贫乏,以中、低品位为主。按目前年消耗磷矿5 000多万t的水平计算,国内高品位磷矿只不足12年的使用。到2010年后磷矿供应偏紧,到2020年后将供不应求,稀缺程度将逐年加大。国土资源部已将磷矿列入2010年后不能满足国民经济发展需求的重要矿种之一。因此,如何合理开发利用我国大量的低品位磷矿和管好用好极有限的高品位磷矿,是磷肥和磷化工行业迫切需要解决的重要问题。

2 我国对磷化工行业的需求分析

(1) 磷化工产业的主要原料是磷矿,我国磷矿资源丰而不富。

应用现有技术只使用高品位富矿和部分中品位矿,我国的磷矿资源将很快面临枯竭境地,危及国家的粮食安全。因此开发利用中、低品位磷矿,特别是突破选矿技术与综合利用低品位磷矿技术迫在眉睫。

(2) 磷矿是不可再生的资源。

磷矿开采的逐步贫化与质量下降是世界范围内不可逆转的大趋势。随着磷矿质量下降,各种有害杂质含量增加,将磷矿用于磷化工生产进行评价试验研究,为磷化工企业提供磷矿质量变化及优惠的工艺条件与技术经济指标就愈来愈重要。对于磷酸盐的评价试验,国外建有较多的评价试验中心,具有代表性的如 Jacobs Engineering 实验室、Prayon - Rupel Technologies 实验室、Prytheon 工程师和建设者公司和 Speichim 实验室。其中 Speichim 实验室近 15 年来为来自 28 个国家的 310 种磷矿进行了 1 220 次中试,这些实验数据已输入专家系统,由此可计算很多其他数据。我国目前也已经对国内几十个矿种进行了研究,但是在实验室的规模、管理、运作等方面与世界先进水平相比还有一定差距。因此为了更好地发展国内磷化工,与世界接轨,在中、低品位磷矿的利用方面走在世界前列,建立国际一流的评价试验中心是急需的。

(3) 磷精细化工产品工业、国防军工、尖端科学与人民生活中有广泛应用。

当前我国磷化工产品以初级为主,精细、专用、材料产品少,同一产品的牌号、剂型少,规格少,不能满足用户不同用途的要求,特别是日益发展的高新

技术产业的需要。一些高附加值的精细磷化工产品,特别是为高新技术产品配套的精细产品在相当程度上完全依赖进口,阻碍了高新技术的发展,危及国家安全。近年来,国外一些生产磷酸盐的公司为增强竞争力而兼并重组为更大的公司,为保护资源、保护环境、节约能源和提高效益转而减少或放弃磷化工低档产品的生产,把一些粗放型的磷化工产品市场让出给发展中国家,转而致力于高科技、高附加值的精细和专用磷化工产品的生产。因此为节约能源与降低成本,打破国外对高纯磷化工技术的垄断,国家需要大力开展磷化工创新技术的研究,缩小与世界先进水平的差距,尽快使我国由磷化工产品的产量大国提升为磷化工生产的技术强国,以满足国防、军工、航空、航天及人们日常生活的需要^[1-4]。

(4) 节能减排是磷化工行业急需解决的问题。

国家“十一五”规划提出了节能减排的约束性指标,国务院下达了节能减排综合性工作方案,这是全面落实贯彻“十七大”科学发展观的重要举措,对于加快建设资源节约型、环境友好型社会具有重要意义。但是国内现有磷复肥企业普遍能耗高、污染物排放量大、环境条件差,如何进一步做好磷化工能源环保,发展循环经济,综合利用“三废”也成为行业急需解决的问题。

(5) 深加工,精细化,磷化工产业整体水平亟待提高。

我国磷化工企业数量多,平均规模小,厂点分散,产品品种单一,精、深加工能力差,生产厂家无技术开发能力,更缺乏国际市场竞争力。就磷肥生产企业来说,有生产许可证企业达 4 000 余家,正常生产企业仅 1 000 家左右,达到国家大二型企业仅数 10 家;黄磷企业为 100 余家,规模在 3 万 t/a 以上仅数家,最小的只有 1 000 t/a,国产单台装置最大规模

(上接第 10 页)

制度,发挥群众监督和舆论监督的作用,既对化学品从业单位和个人的违法行为进行监督,又对执法单位和执法人员的玩忽职守或行政不作为进行监督,真正做到“执法必严、违法必究”,解决违法成本低、守法成本高的问题。

(3) 整合现有资源,开展有针对性的研究。

要尽快整合现有的化学品管理机构、技术支持队伍和信息资源,减少职能交叉,提高管理能力和技术水平。将化学品环境管理列入“十二五”规划,系统研究如何将行政管理与经济、技术、法律、信息公

开等手段综合运用,实现对化学品环境污染的源头预防和全防全控。针对国际化学品热点问题和环境外交的新动向开展前瞻性研究,提出预见性的措施和解决方案。

参考文献

- [1] 李政禹. 国际化学品安全管理战略[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [2] 姬洪涛, 曹永友, 李运才. 我国危险化学品登记管理的历史沿革和现状[J]. 安全、健康和环境, 2009, 9(9): 28-31.
- [3] 聂磊, 杨力, 刘纯新, 等. 我国新化学物质环境管理与生态毒理学测试[J]. 化工安全与环境, 2010, 23(5): 5-7. ■

为7 500 t/a,容量为15 000 kVA,该装置仅为20世纪70年代德国单台黄磷装置能力的50%,此外黄磷生产企业分布分散,云南省生产能力50万 t/a,分布在全省1/2的市县,贵州省生产能力31万 t/a,分布在全省2/3的州(市);国内磷酸盐企业总数达到600家以上,总生产能力达到600万 t/a,实际年产量仅300万 t,平均到各厂的生产能力不到1万 t/a。从上述可以看出:目前的磷化工状况与磷资源大国的地位极不相称,磷化工产业的整体水平亟待提高。

(6)我国磷酸盐行业开发投入低、科研开发能力弱,科研人员不足,与发达国家已形成明显的差距。

科研成果转化缓慢,为高新技术发展配套的新产品和新工艺的开发远远落后于发展需要。专用化、系列化、功能化及高纯化产品的机理、结构性能和新合成方法的研究,不能满足高技术及各行各业发展配套产品的需要。根据国际磷化工发展趋势,必须推动学科交叉和建设,培养高层次和复合型磷化工创新及管理人才;积极开展国际合作与交流,促进国外引进先进技术的消化、吸收、创新与国内技术输出,增强磷化工产业和企业的国际竞争力。

综上所述,磷化工领域由于缺乏国家层面的全局性战略部署与总体规划,没有在国家统筹下建立完整的创新体系,在体制上产学研合作松散,在内涵上严重缺失了关键技术的工程化研究重要环节,最终未形成集“磷化工基础研究-关键技术工程化研究-磷化工产品开发”为一体的完整创新链。因此,建立工程化研究基地,突破工程化关键技术是发展磷化工的当务之急。

3 目前的研究重点

(1)低品位磷矿利用及伴生资源利用技术^[5-8]。

我国的磷矿主要以低品位磷矿为主,如何合理开发利用我国大量的低品位磷矿,是磷肥和磷化工行业迫切需要解决的重要问题。低品位磷矿杂质含量高,五氧化二磷质量分数多在20%以下,同磷矿伴生的资源(如F、Si、Mg)具有一定的利用价值。目前对于能选、易选的低品位磷矿主要是靠浮选得到30%以上的精矿,然后进行深加工。而对于低品位胶磷矿的浮选则较为困难,需要研磨到200目以上,浮选成本高,尾矿量大,不符合循环经济的发展理念,企业也很难产生经济效益。

直接利用低品位磷矿的方法主要有HCl分解

法、窑法磷酸法及TVA流程法。其中HCl处理低品位磷矿于20世纪60~90年代初风行,国外以色列IMI矿业公司开发了利用醇类溶剂液液萃取分离磷酸和氯化钙的专利技术,并将此法实现了工业化,但该法取决于盐酸来源及操作成本,未能在我国得到大面积推广,国内目前仅自贡鸿鹤化工厂采用三氯甲烷副产废盐酸生产饲料级磷酸氢钙,运行状况良好,但其所用磷矿不是低品位磷矿。窑法磷酸法最早于1978—1982年由美国西方石油公司(ORC)开发,后经南化设计院将隧道窑主反应器技术改进,在实验室规模上突破了最关键的技术难题——氧化还原区的有效隔离,可直接使用低品位磷矿生产高浓度磷酸,工艺采用煤为燃料,产品成本相对低廉,但在大型工业化方面的技术仍需突破。TVA新流程在美国和加拿大的5种不同矿区进行了中试,尤其对于中亚的卡拉套低品位矿取得了突破,国内采用此法针对我国的低品位磷矿也开展了实验室基础工作,以期创造出适合我国国情的全新流程。事实上,目前国内外对低品位胶磷矿的研究主要集中在浮选技术上,直接利用低品位磷矿的研究很少,在已有的技术报道中,其试验主要是在实验室小装置下进行,蒸发量较大,磷酸质量分数可以达到20%左右。但在实际生产装置中,由于蒸发量小,所制得的磷酸质量分数不可能超过16%。即使国内外湿法磷酸装置采用低品位磷矿生产湿法磷酸,也需要做大量改造,投资较大,因此,不具可操作性。

在低品位磷矿伴生资源利用方面,氟资源的综合利用相对进展较快,其中氟硅酸生产无水氟化氢技术最为引人注目。国外于20世纪70年代先后开发的工艺方法有直接利用磷矿石法、过磷酸钙法、IMC法、Buss法、浓硫酸法,实现工业化生产的仅有瑞士的Kvaerner AG公司采用的“浓硫酸法”使氟硅酸脱水,然后减压蒸馏以制取氟化氢。目前贵州瓮福股份有限公司引进该技术,投资约20 000万元,建设世界上第1套2万 t/a氢氟酸装置。国内也于20世纪90年代开展“湿法磷酸装置副产氟硅酸生产氢氟酸技术”的研究和开发,先后有四川大学、天津化工研究设计院、云天化国际化工股份有限公司参与研究,但技术还处于实验阶段。如果国内该技术中试取得突破,将不仅大大缓解萤石矿的消耗,可较好解决磷化工行业的氟污染治理,同时还可以带动并促进磷化工产业结构调整和优化升级,提升磷化工行业的核心竞争力,加快高新技术和先进适用技术向传统产业的渗透和融合,推动我国磷化工、

氟化工的和谐、快速、持续发展。

(2) 中品位磷矿的利用及料浆法生产高浓度磷复肥^[9-13]。

中品位磷矿的利用是以中和料浆浓缩法制磷铵为代表,从最早核心工艺开发、工业装置配套到建成高水平大型国产化装置,大大小小共实现了近百项技术改造,最终实现利用中品位磷矿生产高浓度磷复肥。经中国磷肥工业协会核实,2007年全国磷肥产量达到1 351万 t(100% P_2O_5 ,下同),产量与消费量均居世界第一,高浓度磷复肥产量992万 t^[28],占磷肥总产量的73.4%,已达到发达国家水平。其中,四川大学与企业共同自主开发的料浆法磷铵、磷酸一铵(MAP)产量为418万 t,约占总产量的60%;以引进技术为主的磷酸二铵(DAP)316万 t,约占总产量的40%,这充分说明了自主创新技术的生命力。另外,该技术在中品位磷矿上的利用也在国际上产生了很大影响,由我国自主开发的料浆法磷铵技术已向东南亚等地输出,体现了此项创新技术的重大价值。国务院及国家发展和改革委员会均给予了高度评价,该成果被列为“八五”攻关突出的五大成果之一。目前“料浆浓缩法”工艺的进一步完善是强化节能减排,进一步发挥优势、适度发展。

(3) 高品位磷矿的利用及高纯磷化工产品的生产^[14-23]。

在磷复肥发展的同时,磷精细化工也由小到大,由弱到强,取得了举世瞩目的发展,我国已成为世界磷酸盐生产大国,磷化工产品占全世界市场的60%,形成了以黄磷为原料的大宗磷深加工为主导产品的格局。但由于黄磷是高耗能、高污染排放的产品,每生产1 t黄磷耗电1.3万~1.5万 kWh,耗焦炭1.8~2.4 t,排渣9~11 t,排放尾气2 800~3 200 m³,这使得利用黄磷生产热法磷酸面临资源、能源和环境的三重压力,世界磷化工格局也由此发生了很大的变化:一是通过兼并重组,对产品结构和布局进行调整,注重精细磷化工产品的研发,增强企业的核心竞争力;二是利用湿法磷酸为原料取代热法磷酸,大幅度降低能源消耗,增加企业的经济效益,这也成为世界磷化工高新技术发展的方向。据报道,国外欧美发达国家湿法磷酸净化技术已实现了工业化,净化湿法磷酸已经占到精细磷化工用酸的75%以上,但他们对我国进行技术封锁,不愿意转让或高价转让技术。为了节能减排,降低成本,我国也开始逐步转向以净化湿法磷酸来取代热法磷酸。但总的来说我国磷酸盐产业尚存在产业技术

低、资源利用率低、精细化率低等问题,在利用净化湿法磷酸方面刚刚起步,而且高纯磷酸(如半导体级)、超高纯黄磷、磷系新型功能材料、手性磷酸络合物催化剂和药物等尚属空白,完全需要进口。

(4) 磷化工循环经济及精细磷化工的绿色合成技术。

磷复肥是保障国家粮食安全的重要基础,磷石膏则是湿法磷酸生产高浓度磷复肥的最大副产物,目前全世界的磷石膏年排放量已超过3.0亿 t,其中我国的年磷石膏排放量已超过5 000万 t,但其利用率不足10%,磷石膏的处理及综合利用已成为一个世界性的难题。磷石膏的堆放不仅占用大量土地,污染环境,而且还给生产企业带来很大的经济负担。因此磷石膏的综合利用已成为制约磷复肥行业实现可持续发展的关键因素之一。为此,中国磷肥工业协会提出,“十一五”期间,磷石膏年处理量要超过1 000万 t,到2010年综合利用率要提高到20%。国内一些企业和单位利用磷石膏生产建筑材料、造纸填充剂、石膏粉体材料和硫酸钾类肥料,做了大量工作。在众多的磷石膏综合利用路线中磷石膏制酸联产水泥是解决磷石膏固废污染最能体现原子经济效应的循环经济路线,特别是鲁北化工集团利用磷石膏制硫酸同时联产水泥,将磷铵、硫酸和水泥3套生产装置有机地组合在一起,形成绿色生态产业链。但因该技术流程长,能耗高,投资大而未能推广。

磷石膏的开发利用技术较多,但主要是在传统标准磷矿副产的磷石膏利用上,而对于含杂质较高的中、低品位磷矿所副产的磷石膏利用几乎没有涉及。事实上,磷石膏中的杂质含量是其加工利用的关键,在目前技术水平下,适宜的杂质含量为 $w(P_2O_5) < 1\%$, $w(F) < 0.25\%$, $w(A.I) < 10\%$, $w(SiO_2) < 8\%$ 。国内企业磷石膏质量同国外伦兹化学公司比差距大,必须通过改进湿法磷酸生产工艺及对磷石膏进行净化处理缩小差距。国外的净化路线至今仍在采用英国帝国化学工业公司(I. C. I)经典流程,但此流程不适宜处理国内的磷石膏。因此需要开发适合中国国情的磷石膏净化和利用路线^[24],以此改变国内磷石膏利用现状,推进行业节能减排和循环经济发展。

绿色技术是当今世界产业技术发展的方向,属于可持续发展技术^[25],是对人体健康无害、对社会安全、对环境友好的技术。由于受资源、能源和环境问题的影响,当今世界磷化工的发展格局和产业结构正发生深刻的变革,呈现出产业的集约化和高端化,

产品的精细化和专用化,合成技术的现代化和绿色化。特别是含磷药物和中间体的绿色合成技术,由黄磷直接合成亚磷酸和磷酸酯的绿色催化技术,磷系电子化学品的制备技术,高效低毒有机磷农药的研制,新型磷系阻燃剂的合成技术等。目前上述技术国外已具备工业生产能力,而国内产品质量及性能还存在较大差距,多数还处于实验室研究阶段。因此应当加强研究开发,突破关键技术,大力发展绿色合成技术,促进我国高新精细磷化工产业发展的“绿色化”。

(5)建立磷矿国际评价试验研究中心,搭建磷化工信息网络服务、技术创新平台。

建立磷矿国际评价试验研究中心,接受国内外委托的磷矿评价试验研究任务,提供国际一流的磷矿评价技术,为不同矿源中低品位磷矿用于工业生产提出最佳的工艺流程和经济技术指标。同时也使我国能及时掌握世界磷矿资源情况、变化趋势,以进一步为世界磷化工的发展献计献策。

搭建起磷化工信息网络服务、技术研究及创新平台,持续不断地为磷化工产业提供工程化研究成果,同时帮助引进、吸收、消化、推广磷化工新产品、新技术,成为磷化工企业与机构相关科技人员联系的纽带,并培养磷化工及相关学科高水平的工程技术人员,使企业技术实力得到快速提升。

对上述磷化工发展的几个主要领域进行攻关,开发具有世界先进水平的工艺技术及配套装备。在我国磷资源丰富地区建立磷化工基地,调整磷化工行业的产品结构和布局,实施精细磷化工的开发,增强企业核心竞争能力等具有重要意义,与磷化工国际化、大型化、精细化的发展方向相适应。

参考文献

- [1] 贡长生. 我国精细磷化工的发展思路和技术创新[J]. 现代化工, 2006, 26(12): 1-7.
- [2] 方为茂, 郭孝东, 杨海兰, 等. 对当前磷化工产业发展的建议[J]. 化工进展, 2009(1): 82-85.
- [3] 李燕凤, 李军, 钟本和. 预分散溶剂萃取用于浓缩湿法磷酸脱色[J]. 无机盐工业, 2007(7): 33-35.
- [4] 钟本和, 吴德桥, 方为茂, 等. 大型磷肥行业应向高纯磷化工方向发展[J]. 现代化工, 2008, 28(12): 7-10.
- [5] 钟本和, 吴德桥, 杨海兰. 中国低品位磷矿利用途径的探讨[J]. 无机盐工业, 2009(2): 1-5.
- [6] 曾繁端. 湿法磷酸的基本原理及工业化生产的意义[J]. 云南化工, 1999(3): 10-13.
- [7] 宁培栋. 湿法磷酸现状和前景[J]. 湖北化工, 1994(1): 5-12.
- [8] 殷宪国. 湿法磷酸开发战略与工业化技术路线[J]. 磷肥与复肥, 2007(11): 37-40.
- [9] 钟本和, 梁斌, 黄美英, 等. 酸性料浆法浓缩生产磷铵新工艺[J]. 化工矿物与加工, 2007(5): 1-3.
- [10] 钟本和, 应健康, 马策, 等. 料浆法磷铵联产装置概[J]. 化肥工业, 2007(3): 43-45.
- [11] 张允湘, 罗洪波. 浓缩酸性料浆制磷酸铵的研究[J]. 硫磷设计与粉体工程, 2008(6): 1-4.
- [12] 汤建伟, 张宝林. 微波作用下酸解磷矿动力学模型研究[J]. 化学反应工程与工艺, 2007(2): 114-119.
- [13] 钟本和, 应健康. 料浆法磷铵新技术及发展方向[J]. 磷肥与复肥, 2007(6): 30-33.
- [14] 苏毅, 李国斌, 等. 黄磷精制脱砷工艺试验研究[J]. 化肥工业, 1998(12): 11-16.
- [15] 钟本和, 李军, 龚海燕. 溶剂萃取法净化湿法磷酸的研究进展[J]. 化工矿物与加工, 2007(7): 1-3.
- [16] 高洁. 浅谈湿法磷酸的净化[J]. 化工矿物与加工, 2004(7): 37-38.
- [17] 黄伟九. 溶剂沉淀法净化湿法磷酸技术现状与进展[J]. 化工进展, 1997, 16(6): 39-42. 1.
- [18] 钟本和, 李军, 等. 湿法磷酸净化试验研究[J]. 化学工程, 2006(5): 76-78.
- [19] 王辛龙, 万先达. 湿法磷酸净化的新进展[J]. 磷肥与复肥, 2001, 16(2): 32-33, 56.
- [20] 雷婷, 李军, 郑东升, 等. 新两步法净化湿法磷酸[J]. 磷肥与复肥, 2007(5): 23-25.
- [21] 钟本和, 方为茂, 李军. 发展湿法磷酸净化作强我国磷酸盐工业[J]. 化工矿物与加工, 2008(6): 30-33.
- [22] 黄美英, 钟本和, 陈亮, 等. 往复振动筛板塔净化湿法磷酸的研究[J]. 化学工程, 2007(3): 1-6.
- [23] 钟本和, 李军. 湿法磷酸净化技术的研究现状和发展方向[J]. 无机盐工业, 2008(2): 9-12.
- [24] 黄隐华, 钟本和, 等. 湿法磷酸生产中磷石膏废渣制硫酸钾铵的中间试验研究[J]. 环境工程, 2003(4): 2.
- [25] 汤秀华, 任永胜, 李军, 等. 磷酸二氢铵结晶动力学研究[J]. 无机盐工业, 2007(6): 28-30. ■

《现代化工》入选中国科学引文数据库核心期刊

《现代化工》创刊于1980年,为中国化工信息中心主办的综合性化工技术类期刊。经过近30年的发展,《现代化工》已经在化工领域有了很大的影响,一直入编《中文核心期刊要目总览》。今年,《现代化工》入编《2009—2010年中国科学引文数据库核心期刊》。目前,《现代化工》既是中文核心期刊也是科学引文数据库核心期刊。读者和相关单位可登陆中科院中国科学文献服务系统(<http://sdb.csdl.ac.cn>),点左下角“中国科学数据库来源期刊”查证。

——《现代化工》编辑部