

氮肥行业产能过剩性质分析和应对

张永华^{1,2}, 杨 令¹, 王亭杰^{1*}

(1. 清华大学化工系, 北京 100084; 2. 中国石油宁夏石化公司, 宁夏 银川 750026)

摘要:近年来,氮肥行业产能过剩,企业效益普遍下滑,发展遭遇困境,主要原因是传统氮肥生产技术广泛应用,生产成本成为市场竞争的主要因素,产能过剩的实质是传统氮肥技术和产品产能的相对过剩。然而,粮食生产对氮肥的刚性需求依然存在,传统氮肥在生产和施用过程中造成的环境污染依然严重。面对激烈的市场竞争和产能过剩,氮肥行业需要根据资源条件调整原料路线,采用清洁、低碳的生产技术,开发生产新型高效的缓控释氮肥,提升氮肥生产技术和产品质量,主动有序地淘汰落后产能,使氮肥行业在技术不断进步中健康发展。

关键词:氮肥;产能过剩;清洁低碳;控释肥;煤炭
中图分类号:TQ441 **文献标志码:**A

文章编号:0253-4320(2015)06-0007-06

Characteristics of overcapacity and strategy to face in nitrogen fertilizer industry

ZHANG Yong-hua^{1,2}, YANG Ling¹, WANG Ting-jie¹

(1. Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
2. Petro-China Ningxia Petro-Chemical Company, Yinchuan 750026, China)

Abstract: In recent years, the overcapacity in the nitrogen fertilizer industry has become a serious problem, which has made the enterprises be faced with difficulties in development and their benefits decline sharply. The main reason is analyzed to be the widely and overly application of the traditional production technology of nitrogen fertilizer. The production cost becomes the main factor in the market competition. The essence of the overcapacity is the relative surplus of production capacity of the traditional technology and the traditional products which are overly used and produced, respectively. However, the grain production has a rigid demand on the quantity of nitrogen fertilizer. The nitrogen fertilizer in the production and fertilization are still resulted in a serious environmental pollution. Facing up with the market competition and the overcapacity, the industry of the nitrogen fertilizer needs to adjust the raw material route according to the resource conditions and use clean and low carbon production technology, to develop and produce a novel nitrogen fertilizer of slow/controlled release with high utilization efficiency, promoting the level of nitrogen fertilizer production technology and product quality. The industry of nitrogen fertilizer should actively and orderly close down the backward production capacity, leading to a healthy development via technology innovations.

Key words: nitrogen fertilizer; overcapacity; clean and low carbon; controlled release fertilizer; coal

1 传统氮肥技术的产能过剩

我国氮肥行业经过 70 余年的发展,经历了从无到有、从小到大、从进口到出口的发展历程。我国是农业大国,根据粮食总量安全的需求,氮肥工业得到超常规发展^[1]。表 1 列出了新中国成立以来的氮肥年产量。氮肥产量的快速增长,有效地解决了 13 亿人口的温饱问题。

表 1 历年我国氮肥产量统计^[2-3] 万 t

年份	1949	1959	1969	1979	1984	1989	1994
氮肥产量(折纯)	0.6	16.4	102.3	882.1	1221.1	1424.0	1736.3
年份	1999	2004	2006	2008	2010	2012	2013
氮肥产量(折纯)	2472.0	3304.1	3911.5	4331.2	4458.7	4865.6	4873.9

近年来,以尿素为代表的传统氮肥技术产能快速增长,国内市场供求关系发生根本性变化,从供不应求转为供应过剩。据中国氮肥工业协会统计,2013 年国内尿素产能达到 8 070 万 t(实物量,以下尿素产能和产量均为实物量),而市场对尿素需求(包括国内需求和对外出口)约为 6 500 万 t,尿素产能过剩约 1 570 万 t。而且 2014、2015 两年内还有 25 个项目建成投产,预计增加产能约 1 674 万 t^[4]。老旧产能未及时淘汰,新增产能仍在增长,产能过剩问题将进一步加剧。

与此同时,全球市场同样面临氮肥产能过剩,根据国际肥料协会(IFA)预测,2015 年世界尿素产量将达到 1.93 亿 t,尿素需求增长至 1.83 亿 t,过剩量为 1 000 万 t 左右。2013—2017 年,能源价格较低

收稿日期:2015-01-08

基金项目:国家自然科学基金项目(NSFC No. 20876085)

作者简介:张永华(1972-),男,大学,高级工程师,从事化肥生产和管理工作,18995068328, yhzhang-nx02@petrochina.com.cn;王亭杰(1964-),男,博士,教授,博士生导师,从事颗粒工程学和控释化肥等方向研究,通讯联系人,010-62788993, 13651253611, wangtj@tsinghua.edu.cn。

的地区如中东、北美等资源地,氮肥产能扩产近 2 000 万 t/a,我国传统氮肥出口国如印度、美国等扩产近 1 300 万 t/a^[4],我国尿素出口将会面临更大的压力。2014 年国家降低氮肥出口关税,降幅约为 200 元/t,以鼓励出口,但国际市场价格却急剧下降,造成国内市场进一步恶化。2014 年 6 月,印度进口尿素招标,投标量远远高于预期,而且尿素到岸价只有 266 美元/t,仅相当于国内一些氮肥厂的成本价^[5]。产能过剩造成氮肥行业内部竞争激烈,市场销售价格不断下跌,盈利大幅下降,由于产品价格与成本倒挂,不少氮肥企业不得不停产。氮肥工业协会统计结果显示,2014 年氮肥企业开工率不足 70%,2013 年一季度氮肥行业盈利 27 亿元,而 2014 年一季度亏损 10.8 亿元,下滑非常明显。与此同时,缓控释肥等新型肥料却保持稳步上升^[6]。

由此可见,氮肥行业产能过剩的性质是传统氮肥技术和产品的相对过剩,传统氮肥生产技术已经广泛应用,化肥生产成本在市场竞争中成为关键要素,拥有低成本原料资源的企业在竞争中赢得主动,特别是国外能源、资源丰富的地区,原料成本低,冲击我国的氮肥行业,面对目前的困境,要在激烈的市场竞争中生存和发展,需要正确认识目前产能过剩的性质和应对策略。

2 粮食生产对氮肥的刚性需求

全球有 70 亿人口,按年人均粮食需求约为 360 kg 计算^[7],每年粮食产量要达到 25.2 亿 t,才能解决当前人口对粮食的需求,据联合国粮农组织统计,2012/2013 全球粮食年产量仅为 22.84 亿 t。在水资源和耕地资源有限的条件下,必须通过科学施肥,提高农作物单位面积产量实现粮食增产。根据联合国粮农组织报告统计,发展中国家粮食增产中 55% 来自于施用化肥的贡献,我国化肥对粮食增产的贡献率约为 50%^[8]。目前,全球化肥施用量的年增长率为 5%,化肥总量需求稳中有升是粮食增长的刚性需求^[9]。

我国可耕地面积仅占世界可耕地面积的 8.1%,随人口增长,要满足占世界 19.1% 人口的粮食需求,预计 2020 年我国粮食产量需增加到 6 亿 t^[10],化肥是粮食的“粮食”,为满足粮食增产的需求,需要保证化肥总量长期稳定的供应。我国 1985—2013 年粮食总产量和化肥施肥量对比如表 2。表 3 给出了未来农业生产中氮肥施肥量的预测结果^[11]。我国农业氮肥消费总量总体呈现缓慢

上升趋势,并逐渐趋于稳定,国内粮食生产对氮肥的刚性需求,是我国氮肥行业生存发展的基础。

表 2 1985—2013 我国粮食总产量和化肥施肥量对比^[11]

万 t					
年份	1985	1990	1995	2000	2004
粮食产量	37910.8	44624.3	46661.8	46217.5	46946.9
化肥施肥量(折纯)	1775.8	2590.3	3593.7	4146.4	4636.6
氮肥施肥量(折纯)	1204.9	1638.4	2021.9	2161.5	2221.9
年份	2006	2008	2010	2012	2013
粮食产量	49804.2	52870.9	54647.7	58958.0	60193.8
化肥施肥量(折纯)	4927.7	5239.0	5561.7	5838.8	5911.9
氮肥施肥量(折纯)	2262.5	2302.9	2353.7	2399.9	2394.2

表 3 我国未来氮肥施肥量预测^[12]

万 t			
年份	2020	2030	2050
科学施肥(折纯)	2100	2170	2310
粗放施肥(折纯)	3040	3140	3340

3 传统氮肥生产和施用对环境的污染

随着我国签订《联合国气候变化框架公约》、《京都议定书》、《哥本哈根协议》等一系列协议,环境保护问题已成为我国以及世界各国实施可持续发展必须应对的课题。我国要建设生态文明的和谐社会,就不能以牺牲环境为代价,片面追求快速的经济增长。我国 2014 版《环境保护法》即将实施,保护环境已成为一项基本国策。

氮肥行业是能源密集型行业,资源、能源消耗大,污染物排放量大,利用效率较低。“十二五”规划提出,氮肥行业 2015 年相比于 2010 年,氨氮排放量要减少 18%,化学需氧量(COD)排放量要减少 13%,废水排放量要减少 17%^[13]。目前,大型装置吨氨综合能耗 1 235 kg 标煤,比国际先进水平高 24.7%,中小型装置吨氨能耗比国际先进水平高 30%~50%^[10]。氮肥行业生产所造成的环境污染和社会对环境保护要求之间的矛盾加剧,氮肥行业面临巨大的节能和环保压力,氮肥行业清洁、环保生产势在必行。通过技术创新实现清洁生产,不仅可以促进环境保护,缓解行业环保压力,还可有效降低成本,增加行业竞争力。在国家政策及发展规划的引导下,通过市场竞争,逐步淘汰高耗能、高污染、高排放的落后产能,促进氮肥行业健康有序发展。

目前,我国的农业污染情况非常严峻,化肥流失已经成为量大、面广、累积的庞大污染源。2010年全国污染源普查公报显示^[14],我国水体污染的主要因素是面源污染,湖泊中氮、磷污染的57.2%和67.3%来自于农业面源污染,而来自于化肥的氮、磷污染分别占农业面源污染的59.1%和38.2%。此外,累积的氨氮等营养元素随土壤水分挥发到大气中,在低空与气溶胶相结合,为吸附在溶胶中的微生物快速繁殖提供养分,这也是近几年我国雾霾快速形成、频发和爆发的一个重要原因^[16]。土壤中肥料元素的积累使土壤酸化,破坏土壤结构,导致土壤盐渍化^[15]。

化肥利用率低的本质是养分释放速率与作物需求速率不匹配^[17-18],养分流失严重。以尿素为例,经过淋溶、硝化和反硝化过程,大部分尿素转化成对水体、大气和土壤的污染,因此,控制尿素的溶解和释放是提高养分利用率的根本途径^[19]。缓控释化肥可提高化肥利用率,通过降低或控制养分的释放速度,长期稳定地为农作物提供养分,可有效地避免养分流失,降低化肥对土壤和环境的污染。目前,缓控释化肥是现代化肥产业发展的重要方向,通过发展缓控释化肥技术,带动我国氮肥行业的技术升级,推动农业节能减排,减少化肥污染,改善生态环境。

4 原料资源对氮肥产能过剩的影响

4.1 氮肥原料的资源特点

煤炭、天然气、石油是氮肥生产的3种主要原料,根据合成氨原料路线的不同,可将氮肥生产工艺分为油头、气头、煤头3类,在传统氮肥生产技术广泛应用的情况下,产品成本主要取决于原料资源价格。

4.1.1 石油资源

石油是不可再生资源,而石油的消费量却在逐年增长,根据石油输出国组织(OPEC)2014年世界石油展望报告预测^[20],到2040年,全球对石油的日需求量为11 110万桶/d(1 516万t/d),相比于2013年的日消费量9 000万桶/d增长23%。我国石油资源贫乏,可开采资源量111.8亿t,人均可采储量仅为世界人均的17%^[21]。资源短缺使我国石油供应与社会经济发展的矛盾突出,对石油进口的依存度不断升高。由于石油供需关系的影响,油价在整体趋势上将随世界经济的发展同步上涨,并呈现短期内波动大的特点^[22]。国内石油价格已和国

际市场接轨,也将随之波动。

4.1.2 天然气资源

据BP世界能源统计报道^[23],2010年世界天然气探明可开采的储量为 1.871×10^6 亿 m^3 ,如果以2010年的开采速度计算,世界天然气资源只可供使用58.6年。国内天然气属于紧缺资源,2012年我国天然气探明储量 3.096×10^4 亿 m^3 ,仅占世界天然气已探明储量的1.65%^[23]。随国内天然气需求的快速增长,供需矛盾日益突出。

进入21世纪后,国际天然气价格不断上涨。亚洲天然气价格自2004年至2011年已上涨2倍多。正常情况下,亚洲进口天然气长期合约价格在较长一段时间内将维持在较高水平^[24]。国内天然气价格亦将不断攀升。首先从国际范围看,原油、天然气、煤炭的比价关系为1.00:0.60:0.20,但在国内,对应的比价关系则是1.00:0.20:0.17,天然气价格偏低;其次进口天然气价格高,目前我国进口天然气主要来自中亚地区,进口气价(到岸价)约为2.0~2.5元/ m^3 ,但国内天然气价格低,出现价格倒挂。为更好地利用价格杠杆引导资源合理配置,国家逐步调整天然气价格,尽快实现与国际市场接轨。根据近年来我国天然气市场的价格发展态势,以及与国际市场的接轨时间,预测2013—2020年,国内天然气价格都会以一定的幅度上涨^[25],如表4。

表4 我国2013—2020年天然气价格预测

年份	2013	2014	2015	2016
预测价格/(元· m^{-3})	3.002	3.112	3.222	3.332
年份	2017	2018	2019	2020
预测价格/(元· m^{-3})	3.442	3.552	3.662	3.772

4.1.3 煤炭资源

我国化石资源的特点是“富煤、少油、缺气”,在世界已探明的化石能源储量中,我国的煤炭资源占世界的12.6%,全国累计可探明煤炭保有储量超过 1.0×10^4 亿t。这种化石资源的禀赋特点决定了我国是世界上少有的以煤为主要能源的国家,与世界能源结构以油、气为主的情况显著不同。煤炭是我国的主体能源,其价格的变化对我国的宏观政策和各行业都有着重要的影响。2010年以前,煤炭价格基本处于上升趋势,进入到2010年以后,由于进口煤炭的冲击,煤炭价格逐步下滑,甚至有可能进一步下滑^[26],图1是近10年来煤炭价格变化图。中国煤炭工业协会预计,由于近年国内、国际煤炭产量明

显过剩,加上进口煤炭的冲击,在今后一个时期,我国煤炭市场需求趋缓与产能释放的矛盾更加突出,价格下行的压力不断加大^[27]。

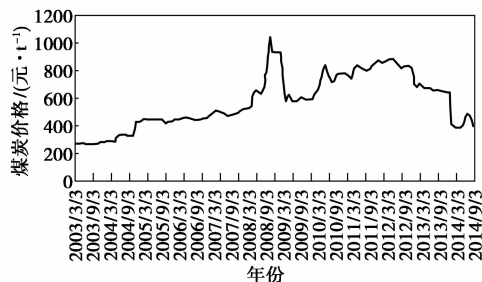


图 1 2003—2014 年煤炭价格变化图^[26]

4.2 调整优化氮肥原料路线

由于氮肥行业尿素产品同质化的特点,其竞争主要体现在产品成本上,原料成本是决定产品成本的主要因素。因此,调整优化原料供给路线是保持氮肥行业竞争力的重要举措。表 5 是不同原料尿素的成本对比。

表 5 不同原料尿素的成本对比^[28]

氮肥原料	原料供给特点	每吨尿素用量	价格(不含税)/元	每吨尿素原料成本/元
重油	原料紧缺,价格高位波动	450 kg	2.80	1260
天然气	供不应求,价格持续上涨	590 m ³	1.42	838
标准煤	产能过剩,价格低位稳定	1500 kg	0.35	525

4.2.1 淘汰油头氮肥路线

以石脑油、渣油为原料的合成氨工艺发展于国外上世纪五六十年代,适应于当时石油资源丰富,价格低廉(2~3 美元/桶),但随石油价格上涨而逐渐被淘汰。国内油头氮肥企业也因原料价格上涨,成本太高,而相继实施了油改煤、油改气的工艺改造,目前,全国范围内已基本淘汰油头氮肥路线,表 6 是 2013 年不同原料生产尿素的产能分布。

表 6 2013 年不同原料生产尿素的产能分布^[29]

原料	石油	焦炉气	天然气	非无烟煤	无烟煤
比例/%	0	2.60	27.70	16.60	53.10

4.2.2 优化气头氮肥路线

天然气是清洁能源,国外 80% 以上的产能以天然气为原料^[30]。由于国内天然气资源缺乏,供应向民用倾斜,工业用气“气荒”频现,且价格持续上涨,造成生产原料成本增加,市场供应得不到保证。因此,气头氮肥需要及时调整原料供应路线,向煤头发

展,加之煤炭价格下行,也给气头氮肥加快实施原料路线调整提供了难得的机遇和条件。此外,国内天然气需求增长过快,且具有季节性波动特征,作为调峰用气的气头氮肥企业应予以保留,以保证天然气输送管道的安全、稳定,为满足上、下游一体化发展的要求,原料天然气价格应给予一定的优惠。

4.2.3 发展煤头氮肥路线

氮肥行业与新型煤化工有着密切的关系,在流程设置上两者在前段相似,从技术上,合成氨装置可以很容易地从煤化工路线上获得原料,实现联产。氮肥行业结构调整和产业升级的一个重要方向是联产现代煤化工^[31],原料采用煤化工路线,以煤炭为原料生产氮肥,实现煤炭的清洁利用和节能减排,不仅可以摆脱我国对石油、天然气的过分依赖,而且可以发挥煤炭资源丰富的优势。

氮肥生产对能源的依赖性很强,属于能源密集型产业。由于我国独特的煤炭资源禀赋,氮肥行业原料转向煤炭是发展方向,煤头氮肥在我国氮肥行业里处于龙头地位。通过氮肥行业结构调整和产业升级,在煤炭资源丰富的地区建立大型氮肥生产基地,上大压小,以新代旧,逐步淘汰落后产能,实现煤炭资源清洁化利用和氮肥装置向资源地转移。

5 发展清洁煤头氮肥技术

尽管目前煤头氮肥具有原料成本低的优势,但煤头氮肥路线也存在碳排放量高、环境污染重、耗水量大等缺点,表 7 给出了煤和天然气原料制氨的能耗、水耗和 CO₂ 排放量比较^[10]。煤头氮肥企业需加大节能减排和低碳生产投入,清洁低耗,减少污染,提高产品竞争力,并逐渐走向国际市场,实现煤头氮肥健康、可持续发展。

表 7 煤和天然气原料制氨的能耗、水耗和 CO₂ 排放量比较^[10]

原料	每吨氨能耗 (标煤)	每吨氨理论 用水量	每吨氨理论 CO ₂ 排放量	每吨尿素理论 CO ₂ 排放量
天然气	1.06	0.651	1.145	0.412
煤	1.80	1.588	2.291	1.558

煤气化是煤化工的龙头和基础,其效果直接影响煤化工的效率、成本和发展。煤头氮肥应推广应用新型先进的洁净煤气化技术,提高资源、能源利用效率,减少消耗,从源头上削减温室气体排放。提高装备技术水平,采用先进工艺技术是低碳节能的重要措施,其贡献可占节能降耗总量的一半^[10]。氮肥

行业中主要能耗设备如压缩机、锅炉、气化炉等关键设备的技术改造,是低碳节能的关键。如气化炉采用德士古加压气流床水煤浆气化工工艺,碳的转化率可达97%~99%,吨氨煤耗可降到1.40~1.54 t^[10]。根据工艺流程特点,采用中低变换工艺技术、NHD脱碳工艺技术等,提高单元设备、过程转化、吸收的效率,实现过程节能。这些先进装备及技术的应用,是低碳生产、过程控制的主要措施。“三废”排放综合治理,提高废弃物综合利用能力,实现废弃物的资源化治理。排放污水经废水处理回收后利用,用煤渣来制作建筑用空心砖、水泥、高压路砖等技术的应用,减少“三废”的直接排放,高碳能源低碳化运行,实现末端资源化治理,减少排放。

节能降耗、低碳生产的先进技术很多,资源条件的限制使得我国只能发展以煤为主的氮肥产业,氮肥企业进行原料和动力结构调整,要采用先进的洁净煤气化技术,实行源头削减、过程控制、末端治理的综合措施,实现能源、资源的高效利用,化工过程高效转化,废弃物消纳和资源化治理的良性发展道路,实现煤炭资源清洁化利用,氮肥行业绿色转型,可持续发展。

6 发展新型高效控释化肥

氮肥行业除了发展清洁煤头氮肥技术外,更要在传统产品的基础上,向创新及差异化产品方向发展,开发生产新型高效的化肥产品,为氮肥产业增加新的经济增长点,增强行业可持续发展能力。缓控释化肥可通过调控释放机制使化肥养分释放延缓或控制释放,从而提高化肥养分的利用率^[33],减少化肥的施用量和施肥次数。目前已有的缓控释化肥品种有合成型微溶缓控释化肥^[34],如脲甲醛、三聚氰胺、丁烯叉二脲等;抑制剂改良的缓控释化肥^[35],硝化抑制剂有双氰胺、硫尿、氰醇等,脲酶抑制剂有 n -丁基硫代磷酸三胺(NBPT)、苯基磷酸二胺(PPD)、氢醌(对二甲酚)等;对于包膜型缓控释化肥^[36-37],包膜材料有无机包膜材料和有机包膜材料等,其中包膜型缓控释化肥的控释性能好,可有效控制肥效期,是缓控释化肥的发展方向^[38-39]。

我国化肥利用率低,氮肥利用率仅为30%~35%,而发达国家的利用率为50%~60%^[40]。这说明我国在提高化肥利用率方面的空间很大,也给缓控释化肥的发展提供了难得的机会。我国对缓控释化肥的研究开发已有40余年,并取得了一些研发成果和生产经验,目前,我国新型肥料企业已超

2 000家,占全部肥料生产企业总数的25%左右^[41]。我国的缓控释肥产能增长较快,但大规模的缓控释肥企业较少^[42],特别是氮肥企业参与很少。近年来,国家出台了一系列政策支持缓控释化肥的研发和生产。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》已经将新型环保肥料发展列入农业领域优先主题,而“十二五”提出了进一步提升缓控释化肥产业技术水平,实现产业现代化和化肥产品的升级,提升我国在新型化肥领域的国际地位。同时国家发改委、工信部、科技部、农业部等主管部门,也陆续出台了一系列具体措施,扶持这项产业的发展。我国缓控释化肥的发展已经进入了新的发展期。

我国化肥生产和施用量占世界总量的1/3,传统氮肥的应用增长幅度逐渐减少,而具有各种功能的新型化肥将逐渐被人们接受并使用,发展前景广阔。统计显示,2012年新型肥料销售额605亿元,同比增长25%,未来几年新型肥料销售额年均增幅将在10%左右,预计到2015年新型肥料销售额将超过900亿元以上,2020年则有望超过1 400亿元^[43]。2014年我国缓控释肥示范推广扩大到25个省的31种作物,试验示范点92个,基本覆盖了我国主要区域的农作物^[44]。在氮肥销售、利润下降的同时,缓控释肥料等新型肥料却保持稳步上升。

从氮肥行业发展看,产能过剩只是传统产品过剩,新型肥料市场发展潜力巨大,科技含量高的肥料、专用肥等新型肥料还处于短缺状态,传统肥料将成为新型肥料的原料产品,提高肥料附加值和利用率将成为氮肥行业发展的方向。

7 结束语

近年来,我国氮肥产能严重过剩,氮肥行业原料成本成为市场竞争中的主要因素,与此同时,粮食总量生产对氮肥的刚性需求依然存在,氮肥在生产和施用过程对空气、水体和环境带来的环境污染依然严重,产能过剩的本质是传统技术产品产能的相对过剩,氮肥行业要走出困境,需要通过降低原料成本,开发应用清洁低碳的生产技术,生产新型高效的缓控释氮肥,正常有序地淘汰落后产能,使氮肥行业在不断的技术进步中健康发展。

参考文献

- [1] 颜鑫.我国合成氨工业的回顾与展望——纪念世界合成氨工业化100周年[J].化肥设计,2013,51(5):1-6.

- [2] 《世界化学工业年鉴》编辑部. 世界化学工业年鉴——中国化学工业统计[J]. 北京: 化学工业部科技情报研究所, 1984-1991.
- [3] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[J]. 北京: 中国统计出版社, 1998-2014.
- [4] 中国氮肥工业协会, 中国石化联合会产业发展部. 化解产能过剩矛盾专题研究报告之三——氮肥行业化解产能过剩矛盾的建议[J]. 中国石油和化工经济分析, 2014, (1): 43-45.
- [5] 张涛. 印度招标为何激怒中国尿素——氮协倡议中国氮肥企业加强出口价格自律[J]. 中国农资, 2014, (25): 5-6.
- [6] 科技日报编辑部. 中国新型肥料创新发展报告[N]. 科技日报, 2014-07-29(14).
- [7] 孙宝民. 基于国内粮食安全的中国粮食进出口战略研究[D]. 武汉: 武汉理工大学经济学院, 2012.
- [8] 李万青. 我国化肥施用与农业可持续发展研究[J]. 北京农业职业学院学报, 2014, 28(5): 12-16.
- [9] 孙先良. 我国化肥工业发展新方向和新战略[J]. 现代化工, 2014, (1): 1-9.
- [10] 刘化章. 合成氨工业节能减排的分析[J]. 化工进展, 2011, 30(6): 1147-1157.
- [11] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴——2014[J]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [12] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 783-795.
- [13] 安宏伟, 李永华. 合成氨产业的现状和发展建议[J]. 西部煤化工, 2012, (2): 4-13.
- [14] 中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国国家统计局, 中华人民共和国农业部. 第一次全国污染源普查公报[R]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2010.
- [15] 史海娃, 宋卫国, 赵志辉. 我国农业土壤污染现状及其成因[J]. 上海农业学报, 2008, 24(2): 122-126.
- [16] 顾为东. 中国雾霾特殊形成机理研究[J]. 宏观经济研究, 2014, (6): 3-7, 123.
- [17] Shaviv A, Raban S, Zaidel E. Modeling controlled nutrient release from polymer coated fertilizers: Diffusion release from single granules[J]. Environmental Science & Technology, 2003, 37(10): 2251-2256.
- [18] 安迪, 杨令, 王冠达, 等. 磷在土壤中的固定机制和磷肥的高效利用[J]. 化工进展, 2013, 32(8): 1967-1973.
- [19] Chang Jingtao, Wang Ting-Jie, Lan Rui, *et al.* Coating granulation process in a drum fluidized bed and its application in fertilizer production[C]. Proceedings of the 10th China-Japan Symposium on Fluidization, 2010. 11. 17, Tokyo, Japan, 49-54.
- [20] Organization of Petroleum Exporting Countries. 2014 World Oil Outlook[J]. Wien: OPEC, 2014.
- [21] 铁晓华. 中国石油资源与经济的可持续发展研究[J]. 商场现代化, 2010, 22: 78-79.
- [22] 何鸿. 石油价格影响因素分析及未来走势展望[J]. 中国矿业, 2013, 22(S1): 50-54.
- [23] BP p. l. c. BP Statistical Review of World Energy[J]. London: BP p. l. c., 2011-2013.
- [24] 吴齐伟. 国内外 LNG 供需现状及价格趋势分析[J]. 天然气技术与经济, 2014, 8(2): 60-64.
- [25] 蒲涛, 丁金林. 我国天然气价格与国际市场接轨的时间分析[J]. 科技风, 2014, (1): 245-246.
- [26] 王立杰, 高志远. 煤炭价格下降对我国宏观经济的影响[J]. 科学决策, 2014, (7): 48-62.
- [27] 司建楠. 结构性过剩难变, 煤价下行压力不减[N]. 中国工业报, 2014-08-06(A2).
- [28] 刘锦银. 气头尿素前景探析[J]. 中国总会计师, 2014, (2): 115-116.
- [29] 徐振刚, 张飞. 中煤集团煤制尿素产业发展思考[J]. 煤炭加工与综合利用, 2014, (6): 5-8.
- [30] 李琼玖, 叶传湘. 天然气转化制取合成气工艺方法[J]. 氮肥设计, 1996, 34(5): 45-48, 4.
- [31] 李闻芝, 刘鹏程. 氮肥结构调整, 路该怎样走[J]. 化工管理, 2014, 22: 48-51.
- [32] 周和平. 2013年尿素市场分析及2014年展望[J]. 氮肥技术, 2014, 35(1): 51-54.
- [33] Lan Rui, Liu Yonghui, Wang Guanda, *et al.* Experimental modeling of polymer latex spray coating for producing controlled-release urea[J]. Particuology, 2011, 9(5): 510-516.
- [34] 姚俊杰. 包膜缓释尿素制备及释放机理研究[D]. 北京: 清华大学化学工程系, 2005.
- [35] 张民, 史衍玺, 杨守祥, 等. 控释和缓释肥的研究现状与进展[J]. 化肥工业, 2001, 28(5): 27-30.
- [36] 熊又升, 陈明亮, 喻永熹, 等. 包膜控释肥料的研究进展[J]. 湖北农业科学, 2000, (5): 40-42.
- [37] Lan Rui, Wang Guanda, Yang Ling, *et al.* Prediction of release characteristics of film-coated urea from structure characterization data of the film[J]. Chemical Engineering & Technology, 2013, 36(2): 347-354.
- [38] Liu Yonghui, Wang Ting-Jie, Qin Liang, *et al.* Urea particle coating for controlled release by using DCPD modified sulfur[J]. Powder Technology, 2008, 183(1): 88-93.
- [39] Azeem B, KuShaari K Z, Man Z B, *et al.* Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer[J]. Journal of Controlled Release, 2014, 181: 11-21.
- [40] 曲均峰, 傅送保, 操斌. 积极发展缓控释肥的重大意义[J]. 磷肥与复肥, 2011, 26(5): 48-50.
- [41] 林笑. 新型肥料市场前景看好[J]. 中国农资, 2014, (4): 46-48.
- [42] 王玉倩. 我国缓控释肥行业现状分析[J]. 化学工业, 2013, 31(6): 33-36, 45.
- [43] 陈清. 肥料产品创新的机遇与挑战[J]. 中国农资, 2014, (3): 21.
- [44] 陈熙. 我国缓控释肥推广新目标: 减肥、增效[J]. 中国农资, 2015, (9): 24. ■