

我国化肥生产能源消费现状分析

张霞, 蔡宗寿, 李欢

(云南农业大学工程技术学院, 云南昆明 650201)

摘要:通过对2005—2012年国家氮、磷、钾肥产量数据的分析,得到近8年来我国氮、磷、钾肥产量变化趋势,再根据我国氮肥生产能源消费效率及世界磷肥和钾肥的平均能源消费效率,进一步估算出2013年我国氮、磷、钾肥生产中的能源消费总量,为促进我国化肥产业的节能减排和可持续发展提供理论依据。

关键词:化肥;生产;能源消费;效率

中图分类号:S143

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2014)10-0012-04

Energy consumption analysis of fertilizer production in China

ZHANG Xia, CAI Zong-shou, LI Huan

(Faculty of Engineering and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: Through the analysis of the national nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer production data from 2005 to 2012 years, the nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer production trend are obtained in recent 8 years. According to the average energy efficiency of nitrogenous fertilizer production in China and the world average energy efficiency of phosphate and potash fertilizer production, the total energy consumption of nitrogen, phosphorus and potash fertilizer production in China in 2013 year is estimated. The purpose of this research is to provide a theoretical basis in promoting the energy saving and emission reduction system and sustainable development of fertilizer industry in China.

Key words: fertilizer; production; energy consumption; efficiency

随着世界人口的急剧增加,在相对减少的耕地面积上提高粮食产量成为世界农业面临的共同挑战。化肥是农业生产最基础、最重要的投入之一,在现代农业生产中发挥举足轻重的作用^[1-2]。化肥的使用能够维护土壤肥力,为农作物的生长及时提供足够的养分,促进农作物增产。据联合国粮农组织(UAO)统计,化肥对农作物增产的贡献占40%~60%^[3]。全球自20世纪50年代以来化肥的使用量逐年增加,到2011年全世界化肥的消费量达到1.8亿t,是1920年的100多倍^[4]。但是,从能源消费的角度出发,化肥产业又是高耗能产业,是农业生产能源消费的主要来源。例如,美国年化肥生产能源消费量是 500×10^{12} BTU(1 BTU = 1 055 J),占其全部农业生产能源消费的29%^[5]。天然气、煤和原油等不可再生的石化能源不仅是化肥生产的能源来源,而且还是重要的生产原料。据统计,在氮肥生产中能源消费在总生产成本中所占比例高达90%,在磷肥和钾肥生产中所占比例虽然较低,但还是达到45%左右^[5]。可见,化肥产业的发展很大程度上依存于石化能源的大量消费,同时带来了大量二氧化碳等温室气体的排放,加剧了世界能源危机和全球气候变暖。因此,化肥产业的节能减排问题也越来越引起国内外机构和学者的重视,如 Kongshaug

(1998)^[6]、Gielen(2006)^[7]、Brentrup和Palliere(2008)^[8]、Nelson(2009)^[9]等学者先后对不同国家和地区化肥生产能源消费及二氧化碳排放进行了研究。我国是世界上化肥产量和消费量最大的国家,化肥生产节能减排的问题就显得尤为重要。曹仑等(2008)^[10]曾对我国大、中、小型氮肥企业合成氨能耗进行了分析,最后指出中国氮肥行业的合成氨生产能耗总体偏高,其中能源消耗主要集中在中、小型的煤头企业,约占总能源的75.6%^[11],但是他对我国氮肥生产能源消费总量没有进行进一步的分析,更没有涉及到磷肥和钾肥能源消费的研究。本文中首先介绍世界化肥生产中的能源消费现状,并介绍了国际化肥协会(IFA)统计的世界不同地区氮肥生产的能源消费效率,然后通过对《中国统计年鉴》2005—2012年全国氮、磷、钾肥产量数据的分析,得到近8年来我国氮、磷、钾肥产量变化情况,再根据我国氮肥生产能源消费效率及世界磷肥和钾肥的平均能源消费效率进一步估算出我国氮、磷、钾肥生产中的能源消费总量,为促进我国化肥产业的节能减排和可持续发展提供理论依据。

1 世界化肥生产能源消费现状

氮、磷、钾是农作物生产过程中的最重要的营养

素,氮肥、磷肥和钾肥也是世界上使用量最大的化肥。从全球平均水平看,从20世纪60年代以来,全世界氮肥的消费量迅速增加并超过磷肥和钾肥,目前氮肥的消费量占化肥消费总量的60%,而磷肥和钾肥只占23%和17%。国外学者对于不同地区和国家的化肥生产能源消费的研究主要针对于氮肥、磷肥和钾肥,本文中研究范围也是我国氮肥、磷肥和钾肥在生产过程中的能源消费情况。

1.1 氮肥生产能源消费

氮肥90%以上的成分是氨(NH_3)或铵盐,如碳酸氢铵、氯化铵、硝酸铵、尿素等。目前全球合成氨工艺主要是基于哈伯制氨法,即在高温高压将氮(N_2)和氢(H_2)按体积比1:3混合,在催化剂作用下化合成氨。其中氮(N_2)直接从大气中获取,而氢(H_2)主要来源于石化能源中的天然气(CH_4)、煤、原油(烃)作为原料和水蒸汽在高温下重整、气化和烃类部分氧化转化生成。所以,按制氢原料的不同,合成氨生产工艺通常分为气头、煤头、油头3类。目前在全世界范围内,77%的合成氨生产来源于天然气,14%来源于煤(主要集中在中国),7%来源于原油(主要集中在印度)^[12]。

中国和印度是目前世界氮肥产量最多的国家,其产量分别占全世界氮肥产量的30%和8%。与世界大多数国家不同的是,中国由于缺油、少气、有煤的能源资源条件决定了中国氮肥生产中的能源消费以煤为主,天然气和原油为辅的格局。煤、天然气和原油在我国氮肥生产中的消费比例分别为76%,22%和1%^[13]。印度氮肥生产能源消费50%来源于天然气,50%来源于原油^[12]。

从能源效率的角度看,以天然气为原料合成氨生产工艺能源消费效率最高。以煤和原油为原料的单位产量合成氨所需的能源消费分别是以天然气的1.7倍和1.3倍。由于全球不同地区合成氨原料和工艺水平的差异,导致全球不同地区单位产量合成

氨的能源消费效率也不同。国外学者针对不同地区的合成氨能源消费进行了研究和探讨,如Kongshaug(1998)^[6]提出欧洲单位产量合成氨平均能源消费效率为32.1 GJ/t,而Williams等(2007)^[14]通过对全球有代表性的66家合成氨生产企业的调查研究,得出结论是世界单位产量合成氨的能源消费效率在27.6~50 GJ/t间变化,世界平均单位产量合成氨所需能源消费效率为36.9 GJ/t。为了进一步精确统计全球不同地区和国家的合成氨能源消费情况,国际化肥协会(IFA)2008年对全世界33个国家的93家合成氨生产企业做了一次大范围调查,被调查的93家企业合成氨年产量共400万t,约占全球合成氨产量的1/4。调查结论是世界单位产量合成氨所需的平均能源消费效率是36.6 GJ/t,单位产量合成氨所需的能源消费效率最低值和最高值分别是27 GJ/t、60 GJ/t。根据IFA报告,全球不同地区合成氨生产能源消费比例及能源消费效率如表1所示^[13,15]。

表1 全球不同地区合成氨能源消费比例及能源消费效率

地区	不同能源消费比例/%			平均能源消费效率/(GJ·t ⁻¹)		
	天然气	煤	原油	天然气	煤	原油
西欧	100.0			35.0		
中、东欧	98.9		1.1	40.7		
北美	100.0			37.9		
中国	22.0	76.0	1.0	34.0	54.0	42.0
印度	50.0		50.0	36.5		50.0
其他地区	100.0			36.4		

1.2 磷肥和钾肥生产能源消费

磷肥的主要成分是磷酸盐和硫酸,我国生产硫酸的硫资源主要来自硫铁矿,磷酸盐主要来源于磷矿。钾肥的主要成分硫酸钾(K_2SO_4)和氯化钾(KCl),生产原料是钾石盐矿、光卤石、卤水等。因此,磷肥和钾肥生产所需能源消费主要是用于磷矿、

Agency,2007.

[26] Xiong Z, He F, Zhao D, *et al.* Barnett, Immobilization of mercury in sediment using stabilized iron sulfide nanoparticles[J]. *Water Res*, 2009, 43: 5171 - 5179.

[27] Piao H, Bishop P L. Stabilization of mercury-containing wastes using sulfide[J]. *Environ Pollut*, 2006, 139: 498 - 506.

[28] Moreno F N, Anderson C W N, Stewart R B, *et al.* Effect of thioligands on plant-Hg accumulation and volatilisation from mercury-contaminated mine tailings [J]. *Plant Soil*, 2005, 275: 233 - 246. ■

(上接第11页)

[22] Chang T, Yen J. On-site mercury-contaminated soils remediation by using thermal desorption technology [J]. *J Hazard Mater*, 2006, 128: 208 - 217.

[23] Jurate V, Mika S, Petri L. Electrokinetic soil remediation-critical overview[J]. *Sci Total Environ*, 2002, 28(9): 97 - 101.

[24] Dermont G, Bergeron M, Mercier G. Soil washing for metal removal: A review of physical/chemical[J]. *J Hazard Mater*, 2008, 152: 4 - 8.

[25] USEPA. Treatment technologies for mercury in soil, waste and water [R]. Washington D C: United States Environmental Protection

硫铁矿和钾石盐矿的机械开采、运输、粉碎、干燥等环节,能源消费与矿石的开采难易程度有很大的关系,消费能源主要是煤、电力、天然气和燃油等。相对于氮肥而言,由于磷肥和钾肥能源消费强度较低,产量和消费量均较小,所以国外学者对于磷肥和钾肥生产能源消费的研究也相对较少,但是根据部分学者的研究表明,世界平均单位产量磷肥(折 P_2O_5)和钾肥(折 K_2O)的生产所需能源消费分别是 7.9 GJ/t 和 6.3 GJ/t ,分别是世界单位产量合成氨平均能源消费的 21.6% 和 17.2% ^[16]。本文中对我 国磷肥和钾肥生产能源消费的研究也是基于世界平均能源消费水平的基础上进行的。

2 我国化肥生产能源消费分析

2.1 化肥生产和消费现状

我国化肥产业始于 20 世纪 20—30 年代,新中国成立时,我国化肥工业仅有氮肥,磷肥和钾肥等还是空白。新中国成立后,在党和国家的高度重视下,我国化肥产业得到迅速发展。进入 21 世纪以后,我国化肥行业步入了飞速发展时期。2010 年我国氮肥企业有 600 多家,氮肥中的最主要的产品尿素产能高达 $6\,900 \text{ 万 t}$,产量约为 $5\,000 \text{ 万 t}$,居世界首位。我国磷肥产量 2005 年也超过美国而跃居世界第一,磷肥产能达 $2\,300 \text{ 万 t}$ (折 P_2O_5)。与氮肥和磷肥相比,我国由于钾资源的匮乏和需求量的巨大,限制了钾肥工业的发展,钾肥供求缺口还很大,目前我国还是全球最大的钾肥进口国。尽管如此,我国的钾肥工业还是取得了巨大的发展,2013 年全国钾肥产能约为 625 万 t (折 K_2O),比 2012 年提高 31.7% ,自给率为 53.2% 。随着国家新的产业结构调整和扶持骨干企业政策的实施,“十二五”时期我国钾肥产能将达到 $1\,000 \text{ 万 t}$ 左右,国产钾肥可基本满足国内钾肥需求的下限水平。

表 2 和表 3 分别反映了我国近年来化肥产量和农业化肥消费量变化情况^[17]。由表 2 可以看出,我

国 2005—2013 年化肥产量大致逐年上升,到 2013 年化肥产量首次超过 $7\,000 \text{ 万 t}$ 。而从表 3 中也可以看出,我国农业化肥消费量也是逐年上升的,到 2012 年接近 $6\,000 \text{ 万 t}$,其中以氮肥和复合肥消费量最大。

表 2 我国 2005—2013 年化肥产量 万 t

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
产量	4897.5	5304.8	5697.4	5867.6	6706.2	6619.7	6027.0	6840.0	7153.7

注:数据来源于《中国统计年鉴》(2005—2013 年)。

表 3 我国 2005—2012 年农业主要化肥消费量及消费总量 万 t

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
氮肥	2229.3	2262.5	2297.2	2302.9	2329.9	2353.7	2381.4	2399.9
磷肥	743.8	769.5	773.0	780.1	797.7	805.6	819.2	828.6
钾肥	489.5	509.7	533.6	545.2	564.3	586.4	605.1	617.7
复合肥	1303.2	1385.9	1503.0	1608.6	1698.7	1798.5	1896.1	1990.0
消费总量	4766.2	4927.7	5107.8	5239.0	5404.4	5561.7	5704.2	5838.8

注:数据来源于《中国统计年鉴》(2005—2012 年)。

2.2 化肥生产能源消费分析

随着我国化肥产量的不断提高,化肥生产能源消费也逐年提高。较为全面地、科学地估算出我国近年来化肥生产能源消费量对于我国化肥产业构建节能减排长效机制,优化产业结构和布局具有重要的意义。根据国家统计局数据,2013 年我国共生产化肥 $7\,153.7 \text{ 万 t}$ (折纯量,下同),创历史新高。其中共生产氮肥 $4\,927.46 \text{ 万 t}$,磷肥 $1\,632.87 \text{ 万 t}$,钾肥 593.02 万 t ^[17]。本文中首先采用中国氮肥工业协会《氮肥行业“十二五”发展思路》中关于我国氮肥生产能源消费比例的统计数据^[13],计算出我国 2013 年氮肥生产天然气、煤和原油的消费量,然后再根据国际化肥协会(IFA)对于我国氮肥生产能源消费效率和世界平均磷肥(折 P_2O_5)和钾肥(折 K_2O)生产能源消费效率^[15-16],估算出我国 2013 年氮肥、磷肥和钾肥生产能源消费总量(表 4)。

表 4 我国 2013 年化肥生产能源消费估算量

产品类别	氮肥		磷肥	钾肥
年产量/万 t	4927.46		1632.87	593.02
	天然气(22%)	煤(76%)	原油(1%)	
	1084.04	3744.87	49.27	
单位产量能源消费效率(折纯)/($\text{GJ}\cdot\text{t}^{-1}$)	34	54	42	7.9
能源消费量/GJ	3.69×10^8	20.22×10^8	0.21×10^8	1.39×10^8
能源消费量(折标准煤)/万 t	1260.68	6908.10	71.75	474.89
		总计:8240.52		126.41
能源消费总量(折标准煤)/万 t			8841.83	

由表4估算结果表明,2013年我国化肥生产能源消费总量(折标准煤)是8 841.83万t,占2013年我国一次能源消费总量的2.4%,占我国2013年工业能源消费量3.5%。其中氮肥生产能源消费(折标准煤)为8 240.52万t,占能源消费总量的93.2%,而磷肥和钾肥只占5.4%和1.4%。在氮肥生产中,煤消费量(折标准煤)为6 908.1万t,折合原煤9 671.14万t,占2013年我国原煤产量的2.6%。天然气消费量(折标准煤)是1 260.68万t,折合353.13亿 m^3 ,占2013年我国天然气产量的30.17%。

3 结论

(1)化肥产业是高能耗产业,我国是世界上化肥产量和使用量最大的国家,同时也是化肥生产能源消费最大的国家。

(2)2013年我国化肥生产能源消费估算量(折标准煤)为8 841.83万t,占2013年我国一次能源消费总量(折标准煤)37.5亿t的2.4%,占我国2013年工业能源消费量的3.5%。

(3)氮肥生产能源消费在我国化肥生产能源消费总量中所占比例为93.2%,磷肥和钾肥只占5.4%和1.4%。

(4)2013年我国氮肥生产消费煤6 908.1万t,折合原煤9 671.14万t,占2013年我国原煤产量的2.6%;消费天然气(折标准煤)1 260.68万t,折合353.13亿 m^3 ,占我国2013年天然气产量的30.17%。

参考文献

- [1] 郑良永,杜丽清.我国农业化肥污染及环境保护对策[J].中国热带农业,2013,51(2):76-78.
- [2] 孙先良.我国化肥工业发展新方向和新战略[J].现代化工,2014,34(1):1-9.
- [3] 刘国华.我国化肥工业的清洁生产[J].化工矿物与加工,2008,5:36-39.

- [4] 苏建英.世界化肥供需分析及发展展望[J].磷肥与复肥,2012,27(1):74-78.
- [5] Clark W Gellings, Kelly E Parmenter. Energy efficiency in fertilizer production and use[M]. Efficient Use and Conservation of Energy in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Oxford, UK: Eolss Publishers,2004.
- [6] Kongshaug G. Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production[R]. IFA Technical Conference, Marrakech, Morocco,1998.
- [7] Gielen D. Energy efficiency and CO₂ reduction; Opportunities for the fertilizer industry[R]. Proceedings of the IFA Technical Committee Meeting. Vilnius, Lithuania,2006.
- [8] Brentrup F, Palliere C. GHG emissions and energy efficiency in European nitrogen fertiliser production and use[R]. Proceedings of the International Fertiliser Society Conference, Cambridge, UK,2008.
- [9] Nelson R G, Hellwinckel C M, Brandt C C, et al. Energy use and carbon dioxide emissions from cropland production in the United States[J]. Journal of Environmental Quality, 2009, 38(2): 418-425.
- [10] 曹仑,张卫峰,高力,等.中国合成氨生产能源消耗状况及其节能潜力[J].化肥工业,2008,35(4):20-24.
- [11] Bouwman A F, Boumans L J M, Batjes N H. Modeling global annual N₂O and NO emissions from fertilized fields[J]. Global Biogeochemical Cycles,2002,16(4):1-9.
- [12] Nielsen J S. Energy efficiency measures in fertilizer sites[R]. IEA Workshop on Energy Efficiency and CO₂ Reduction Prospects in Ammonia Production, Ho-Chi Minh City, Vietnam,2007.
- [13] 中国氮肥工业协会.氮肥行业十二五发展思路[EB/OL]. [2014-06-01]. <http://www.ccin.com.cn/ccin/news/2011/08/01/191800.shtml>.
- [14] Williams G, Al-Ansari F. IFA benchmarking of global energy efficiency in ammonia production[R]. IFA Workshop on Energy Efficiency and CO₂ Reduction Prospects in Ammonia Production. Ho Chi Minh City, Vietnam,2007.
- [15] IFA. Energy efficiency and CO₂ emissions in ammonia production 2008—2009 summary report[R]. International Fertilizer Association. Paris,2009.
- [16] Helsel Z R. Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use[J]. Energy in Farm Production,1992,6:177-201.
- [17] 国家统计局.中国统计年鉴[J].北京:中国统计出版社,2003-2012. ■

CHS斥巨资重启氮肥生产计划

近期,美国CHS公司将一项长期存在的计划重新提上日程,即利用北美页岩气革命的契机,在美国地区建设氮肥生产基地。但是公司相关负责人称,现在执行这项计划的成本可能将比预算时翻倍。

据悉,CHS是一家全球领先的农业综合企业,拥有大量美国的农民、农场主和合作社,公司的主营业务横跨美国能源领域与农业领域,从为美国嘉吉公司和美国康尼格拉公

司做面粉加工,到与澳洲地区进行粮食贸易,均有所涉及。

近日,CHS公司相关人士表示,已经通过建设一项耗资约30亿美元合成氨装置的最终计划,项目建设地点将位于美国北达科他州。从CHS公司透露该项计划至今已经过去2年时间,作为氮肥主要生产成本的页岩气价格有所下降。项目一旦建成,合成氨日产量将达到2 400 t,高于公司最初所预想的日产量2 000 t。(张力)