

## ◆磷及关联产业工艺创新◆

## 大型磷酸二铵装置双管式反应器工艺技术的应用研究

杜建波, 李贵聪, 龙文恒, 周 山, 何 勇, 朱 境, 张和麒

(云南云天化股份有限公司, 云南 昆明 650224)

[摘 要] 介绍云南某公司一期600 kt/a磷酸二铵装置采用“管式反应器+预中和反应器”混合工艺生产技术存在的问题。针对一期600 kt/a磷酸二铵装置存在的问题进行分析, 并模拟双管式反应器工艺进行实验分析, 得出实施的可行性。最后实施双管式反应器技术改造, 并对实施改造后的生产稳定性、消耗、产品质量、产量等进行分析, 改造达到了预期目的, 产生直接经济效益591.714万元。

[关键词] 磷酸二铵; 管式反应器; 技术改造

[中图分类号] TQ126.3<sup>5</sup> [文献标志码] A [文章编号] 2097-4566 (2025) 08-0032-06**Application research on dual tube reactor process technology for large-scale diammonium phosphate plant**

DU Jianbo, LI Guicong, LONG Wenheng, ZHOU Shan, HE Yong, ZHU Jing, ZHANG Heqi

(Yunnan Yuntianhua Co., Ltd., Kunming 650224, China)

**Abstract:** The existing problems in the first phase of the 600 kt/a diammonium phosphate plant using the tubular reactor + pre-neutralization reactor mixed process production technology of company in Yunnan are introduced. An analysis and simulation of the dual tube reaction process are conducted on the problems existing in the first phase of the 600 kt/a diammonium phosphate plant, and the feasibility of implementation is determined. Finally, the dual tube reactor technology transformation is implemented, and the production stability, consumption, product quality, and output after the transformation are analyzed. The transformation has achieved the expected goal, the direct economic benefits is 5 917 140 RMB Yuan.

**Key words:** diammonium phosphate; tubular reactor; technological transformation

**0 引言**

通过20世纪80年代世界磷肥生产技术及控制技术的快速发展, 国内大型磷酸二铵装置(500 kt/a以上)在20世纪90年代至今一直处于持续建设并不断投产阶段, 产能不断增加, 导致生产用的主要原料优质磷矿石量迅速减少, 致使在产的磷酸二铵装置面临以低品质磷酸为原料进行生产的问题。

云南某公司(以下简称公司)一期600 kt/a磷酸二铵装置采用管式反应器+预中和反应器<sup>[1]</sup>混合生产工艺技术; 采用工业自动化(ABB)控制系统, 2005年3月11日装置化工投料试车, 并一次生产出合格产品。该装置使用的主要生产原料为湿法磷酸和液氨, 生产出的产品内在质量、外观质量均较好, 受到国内外客户的好评。但是随着优质磷矿资源量迅速萎缩, 湿法磷酸质量下降, 导致磷酸二铵生产过程的稳定控制难度加大, 产品水分<sup>[1]</sup>超标、外观质量(均匀度及透性)较差、综合能耗高。

**1 混合工艺存在的问题及实施双管式反应器改造的必要性**

对公司一期600 kt/a磷酸二铵装置采用的“管式反应器+预中和反应器”混合工艺技术进行研究, 结合生产运行工况的调查、分析, 认为当前原料湿法磷酸质量不断下降, 装置设计采用的“管式反应器+预中和反应器”混合工艺技术对低品质磷酸适应性相对较差, 原料质量下降时对产品品质、生产消耗<sup>[2]</sup>等方面存在较大的负面影响。公司对一期600 kt/a磷酸二铵装置在原料湿法磷酸质量变化前后生产工况及产品质量的变化进行跟踪, 发现装置采用低品质湿法磷酸生产时装置运行效率下降和产品质量不稳定。主要调查结果如下: 采用“管

[收稿日期] 2025-03-06

[作者简介] 杜建波(1983-), 男, 云南楚雄人, 高级工程师, 研究方向为磷复肥工艺、新能源材料。

[通信作者] 李贵聪(1982-), 男, 云南巧家人, 高级工程师, 从事湿法磷酸、磷复肥工程技术开发与应用。

式反应器+预中和反应器”混合工艺进行生产，控制过程中通过不断优化，将管式反应器与预中和反应器喷浆量体积比控制在2:1，即：中和反应料浆喷浆量稳定控制在23 m<sup>3</sup>/h、管式反应器喷浆量47

m<sup>3</sup>/h，生产系统运行基本稳定，但因原料湿法磷酸质量变化，生产工况及产品质量随之发生变化。改造前7—12月原料湿法磷酸质量、一次下线产品质量、工艺指标见下表1、表2、表3。

表1 改造前湿法磷酸质量指标

Table 1 Quality indicators of wet-process phosphoric acid before the transformation

项目	w(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )/%	w(固)/%	q <sub>m</sub> /(g·cm <sup>-3</sup> )	w(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/%	w(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/%	w(MgO)/%	w(SO <sub>3</sub> )/%	MER值
7月	47.96	1.92	1.629	1.01	1.80	1.49	2.82	0.089
8月	47.28	2.05	1.628	0.97	1.92	1.48	3.11	0.092
9月	47.36	1.77	1.625	1.00	1.91	1.48	3.23	0.092
10月	47.19	1.65	1.630	1.04	1.89	1.53	3.48	0.094
11月	46.92	1.85	1.626	1.01	1.88	1.59	3.48	0.095
12月	46.42	2.13	1.644	0.99	1.90	1.69	3.39	0.098
平均值	47.19	1.90	1.630	1.00	1.72	1.51	3.25	0.093

表2 改造前一次下线产品质量情况

Table 2 Quality situation of products once offline before the transformation

项目	w(总养分)/%	w(氮)/%	w(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 有效)/%	w(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 水解)/%	w(H <sub>2</sub> O)/%	粒度2~4 mm 占比/%	粒度2.5~4.0 mm 占比/%	圆润度/ %
7月	64.31	17.83	46.48	41.67	1.91	97.61	87.08	79
8月	64.34	17.81	46.53	41.66	2.30	97.34	89.24	79
9月	64.33	17.85	46.48	41.85	2.35	97.14	90.28	80
10月	64.37	17.71	46.66	41.84	2.37	96.78	90.13	80
11月	64.36	17.75	46.61	41.67	2.40	96.86	89.23	80
12月	64.38	17.64	46.74	41.36	2.45	96.34	91.30	79
平均值	64.34	17.76	46.58	41.67	2.30	97.01	89.54	80

表3 改造前工艺指标控制情况

Table 3 Process index control situation before the transformation

项目	管式反应器喷浆量/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	预中和喷浆量/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	生产负荷 (以用氨量计)/ (t·h <sup>-1</sup> )	管式反应器料浆中和度	中和槽料浆相对密度	中和槽料浆中和度	洗涤液相对密度	洗涤液中和度	造粒机出口中和度	干燥尾气出口温度/ ℃
7月	45~50	18~25	18.85	1.54	1.513	1.55	1.510	0.52	1.82	79.56
8月	45~50	18~25	18.41	1.53	1.511	1.55	1.505	0.52	1.83	78.09
9月	45~50	18~25	18.78	1.54	1.511	1.55	1.505	0.51	1.82	80.17
10月	45~50	18~25	18.01	1.54	1.512	1.56	1.506	0.54	1.84	78.01
11月	45~50	18~25	18.03	1.55	1.510	1.55	1.508	0.53	1.83	80.30
12月	45~50	18~25	17.46	1.56	1.510	1.56	1.510	0.56	1.85	78.05
平均值	47.5	21.5	18.26	1.54	1.510	1.55	1.507	0.53	1.83	79.03

从表1、表2、表3可以看出，湿法磷酸的P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量在持续下降，MER值<sup>[2]</sup>均持续升高，到12月时湿法磷酸质量下降最为明显。与湿法磷酸质量下降变化相同，12月产品水分大幅度升高，目测产品已没有透性。从生产主要过程控制指标来看，操作控制相对稳定。

综合分析以上调查数据：“管式反应器+预中和反应器”混合工艺对低品质湿法磷酸适应性相对较差，集中表现在当湿法磷酸MER<sup>[2]</sup>超过0.095时，生产过程稳定控制难度加大，且造粒机内部因喷浆过度集中<sup>[3]</sup>容易结料，产品质量的结晶感、均匀度<sup>[4]</sup>下降较为明显。

为解决“管式反应器+预中和反应器”混合工艺对低品质磷酸的适应性问题，促进生产装置运行的经济性、改善产品质量，在大量调查、研究的基础上，于2016年12月提出了“大型磷酸二铵装置双管式反应器工艺技术的开发与应用”项目，随后公司技术人员对该技术的可行性进行了技术论证，最终于2017年7月完成该技改项目的施工安装工作，随后投入试生产运行。

## 2 实施双管式反应器改造

### 2.1 双管式反应器改造实施的主要目的

在公司一期600 kt/a磷酸二铵装置上应用双管式反应器，稳定生产过程控制指标，稳定装置生产

运行工况；改善产品内在质量和外观品质；提高装置运行效率，降低产品成本；增强装置生产运行对低质原料的适应性；促进装置技术进步，为公司磷肥装置的长远发展奠定基础。

### 2.2 实施双管式反应器改造应达到的技术水平

大型磷酸二铵装置双管式反应器工艺技术的应用与研究是在大型磷酸二铵装置设计采用的“管式反应器+预中和反应器”混合工艺技术的基础上，以技术先进、节约投资为原则进行。

改造内容：保持原管式反应器（RI602）；拆除造粒机内预中和料浆分布器<sup>[5]</sup>，并利用该位置重新设计、布置安装一台管式反应器（RI601）；采用现有的预中和反应器作为新增管式反应器的给料槽；在不改变现用预中和料浆泵及管线、调节阀的基础上，将预中和料浆泵改变为新增管式反应器给料泵；从原进预中和反应器前的液氨管线上配液氨管线到新增管式反应器；利用现有的进预中和反应器的液氨调节控制系统作为新增管式反应器的液氨调节控制系统。

改造后效果：生产过程中在酸洗汽液分离器<sup>[2]</sup>内配制的酸性洗涤液质量<sup>[5]</sup>稳定性增强，能更好地满足双管式反应器的生产运行；产品内在质量稳定性增强。产品总养分富余量<sup>[6]</sup>、水含量等质量指标得到合理稳定控制；产品外观质量得到改善。产品粒级分布<sup>[6]</sup>趋于合理，透性增强；装置生产消耗得到有效控制，生产消耗进一步降低；装置对采用低品质湿法磷酸生产的适应性增强。

### 2.3 双管式反应器改造的理论研究

根据磷酸二铵的生产原理，在湿法磷酸与氨的中和反应过程中，原料湿法磷酸中含有的 $Fe^{3+}$ 、 $Al^{3+}$ 、 $Mg^{2+}$ 等杂质以及中和料浆的中和度、温度、相对密度、黏度<sup>[4]</sup>等指标都对料浆质量、造粒成粒率<sup>[3]</sup>及系统物料通过干燥机后的水分蒸发效率<sup>[6]</sup>造成影响，进而对产品质量、造粒系统物料的粒级分布<sup>[7]</sup>、产品水含量及产品外观质量等造成影响。

根据管式反应器对反应热<sup>[2]</sup>利用更加充分、料浆水含量比预中和料浆水含量低、生产过程喷浆温度相对较高的特点，公司对大型磷酸二铵装置双管式反应器工艺技术的应用进行了前期理论研究，具体情况如下。

通过对管式反应器料浆水含量和预中和料浆水含量对比，确认管反料浆和预中和料浆水含量差异；通过管式反应器生产所得产品质量情况与混合工艺生产所得产品质量情况进行对比，确认两种方法生产的产品质量情况。

在同一时间段内对预中和反应料浆、管式反应器料浆、造粒机出口物料及产品进行取样，分析预中和反应器料浆、管式反应器料浆的中和度、相对密度和水含量；在实验室中模拟生产干燥条件，对所取的预中和反应料浆、管式反应器料浆进行干燥，并分析所得产品质量。

实验数据见表4、表5、表6。

表4 管式反应器料浆和预中和料浆分析

Table 4 Analysis of tubular reactor slurry and pre-neutralization slurry

项目	管式反应器料浆			预中和料浆		
	中和度	相对密度	$w(H_2O)/\%$	中和度	相对密度	$w(H_2O)/\%$
3月12日	1.58	1.530	9.70	1.55	1.490	16.44
3月13日	1.62	1.540	10.22	1.56	1.530	15.34
3月14日	1.67	1.530	12.14	1.54	1.520	16.48
3月15日	1.63	1.550	10.66	1.58	1.500	15.77
3月16日	1.64	1.540	11.43	1.56	1.520	16.24
平均值	1.63	1.538	10.83	1.56	1.512	16.05

从表4管式反应器料浆和预中和料浆分析数据可以看出，管式反应器料浆中和度、相对密度均高于预中和料浆；管式反应器料浆水含量则低于预中和料浆。

从表5料浆经实验室模拟干燥后所得产品质量分析数据可以看出，在相同干燥条件下，管式反应器料浆相对容易干燥，而预中和料浆干燥困难。

从产品角度分析，管式反应器料浆经干燥后

表5 料浆经实验室模拟干燥后所得产品质量

Table 5 Quality of the product obtained after laboratory simulation of drying the slurry

项目	管式反应器料浆干燥所得产品					预中和料浆干燥所得产品				
	$w(\text{总养分})/\%$	$w(\text{氮})/\%$	$w(P_2O_5\text{有效})/\%$	$w(P_2O_5\text{水溶})/\%$	$w(H_2O)/\%$	$w(\text{总养分})/\%$	$w(\text{氮})/\%$	$w(P_2O_5\text{有效})/\%$	$w(P_2O_5\text{水溶})/\%$	$w(H_2O)/\%$
3月12日	64.33	17.56	46.37	42.35	1.67	64.37	17.21	46.33	41.27	2.12
3月13日	64.27	17.48	46.45	42.18	1.78	63.89	17.45	46.10	41.05	2.27
3月14日	64.52	17.86	46.56	42.35	1.58	64.25	17.35	46.08	41.63	2.31
3月15日	64.48	17.66	46.27	42.09	1.67	64.01	17.52	46.27	41.08	2.26
3月16日	64.37	17.59	46.68	42.22	1.89	63.93	17.46	46.08	41.22	2.54
平均值	64.39	17.63	46.47	42.24	1.72	64.09	17.40	46.17	41.25	2.30

表6 造粒机出口物料及产品质量

Table 6 Materials at the outlet of the pelletizer and product quality

项目	造粒机出口物料					最终产品				
	$w(\text{总养分})/\%$	$w(\text{氮})/\%$	$w(\text{P}_2\text{O}_5\text{有效})/\%$	$w(\text{P}_2\text{O}_5\text{水溶})/\%$	$w(\text{H}_2\text{O})/\%$	$w(\text{总养分})/\%$	$w(\text{氮})/\%$	$w(\text{P}_2\text{O}_5\text{有效})/\%$	$w(\text{P}_2\text{O}_5\text{水溶})/\%$	$w(\text{H}_2\text{O})/\%$
3月12日	63.25	17.01	44.21	40.86	3.85	64.56	17.34	46.08	41.08	1.89
3月13日	63.56	17.10	45.27	40.69	4.87	64.48	17.56	46.37	41.08	1.98
3月14日	63.33	16.98	45.33	40.58	4.32	64.39	17.38	46.54	41.27	2.04
3月15日	63.89	16.58	45.18	40.57	4.56	64.37	17.81	46.43	41.26	2.34
3月16日	63.42	16.45	45.27	40.22	4.61	64.51	17.46	46.27	41.34	2.18
平均值	63.49	16.82	45.05	40.58	4.44	64.46	17.51	46.34	41.21	2.09

$w(\text{H}_2\text{O})$  均小于2%；而混合工艺生产的产品  $w(\text{H}_2\text{O})$  平均值大于2%。

根据实验数据分析，在当前湿法磷酸质量不断下降，装置运行工况持续恶化的条件下，采用管式反应器进行生产对产品质量、生产消耗等方面有较大的促进作用，具体表现在以下几方面：在酸洗涤循环汽液分离器内配酸更加方便，所配制的酸性洗涤液能较好地满足管式反应器生产需求；根据管式反应器对反应热利用充分的特点，对中和反应有一定的改善作用。产品在质量有所提高、外观质量改善明显；使用双管式反应器生产后，中和槽保温蒸汽<sup>[8]</sup>停用；同时，料浆带入造粒系统的水分下降，燃煤消耗会有所降低；其他能耗变化须待项目投入生产运行后，通过装置性能考核进行评价；从以上实验数据分析，该技术改造项目具有较好的可实施性，通过项目的实施，改善生产运行工况，对装置的技术进步、经济运行具有较好的促进作用。

#### 2.4 双管式反应器改造

通过实验室实验数据分析，项目的实施对促进装置稳定运行、改善产品质量、降低生产消耗具有明显作用。根据公司技术人员的调查分析，结合实验室实验结果，经讨论决定在公司一期600 kt/a DAP装置上进行大型磷酸二铵装置双管式反应器工艺技术的应用试生产工作。根据生产现场设备管线

及项目技术要求，在充分利用原有设备、管线、流量计、调节阀等情况下，最终确认了如下技改方案：在造粒机内新增管式反应器（见图1）；拆除在用预中和料浆分布器；在拆除预中和料浆分布器位置增设一台管式反应器（DN133、长8.0 m）。通过对洗涤液管线及液氨管线进行局部改造，使预中和槽（RI601）及与预中和槽配套的氨自冷器<sup>[2]</sup>（EI603）和料浆泵（PI601）同时具备新的管式反应器投用或是切换还原为预中和反应工艺的功能。

1) 新增管式反应器洗涤液管线。在进预中和料浆分布器料浆管线前引出一支管，并将该支管配到新增管式反应器上，作为管式反应器洗涤液（ $w(\text{P}_2\text{O}_5)$  40%~43%）的进料管线。同时，在进新增管式反应器前增设一只电动刀阀，便于现场操作控制。

2) 新增管式反应器液氨管线、沿用原有的料浆管线。从进中和槽（R601）液氨管线调节阀后碰口，配管到新增管式反应器，新管式反应器将利用原有的与预中和槽配套的氨自冷器（E603）作为配套的氨自冷器。

不新增管式反应器给料槽及反应器给料泵，将原有的中和反应器（R601）作为新增管式反应器给料槽，将料浆泵（P601）作为新增管式反应器给料泵。同时，中和反应器（R601）生产要求采用

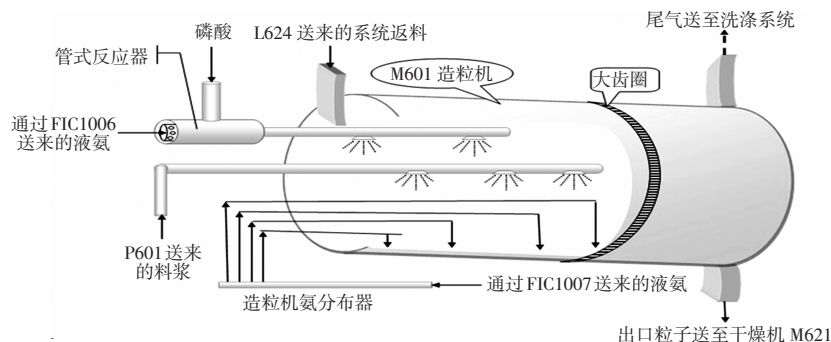


图1 造粒机内部示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the pelletizer interior

预中和槽生产时，中和反应器（R601）又可切换为原来具备预中和反应器的功能。

3) 新增管式反应器增加温度计。在新增管式反应器上安装一支热电阻温度计，用于测量反应温度，该温度引入DCS系统进行显示。

经以上技术改造后，可以在投资最小化的情况下，实现装置多种生产工艺模式切换，操作人员对生产工况的监控、调整更加灵活、方便、准确、快捷。同年7月计划完成该项目的改造，完成试生产操作控制、数据收集、生产总结工作。

### 3 双管式反应器改造后性能考核验证结果

技术改造后对“大型磷酸二铵装置双管式反应器工艺技术的应用与研究”项目的生产能力、产品质量、生产消耗、安全环保指标进行验证。通过装

置性能考核，充分暴露技术改造后存在的问题。

#### 3.1 生产能力

考核期间共生产磷酸二铵（包装量）6 426.80 t，生产负荷达到600 kt/a磷酸二铵装置设计能力<sup>[9]</sup>的107.11%，小时生产负荷基本维持在81.0~110.0 t/h，按照有效运行72 h的开车时间计算平均每小时产量为89.26 t。

#### 3.2 消耗

吨DAP消耗湿法磷酸为470.235 kg，比考核目标值高0.235 kg；氨耗为214.885 kg，比考核目标值低9.115 kg；电耗为45.391 kW·h，比考核目标值低6.609 kW·h；工艺用水消耗为0.227 m<sup>3</sup>，比考核目标值低0.215 m<sup>3</sup>；压缩空气消耗为1.811 m<sup>3</sup>，比考核目标值低0.28 m<sup>3</sup>（见表7）。

表7 性能考核消耗统计

Table 7 Performance appraisal consumption statistics

指标名称	磷酸消耗量/kg	液氨消耗量/kg	硫酸消耗量/kg	内着色剂消耗量/kg	外包裹油消耗量/kg	燃煤量/kg	电/(kW·h)	V(工艺水)/m <sup>3</sup>	m(蒸汽)/t	V(压缩空气)/m <sup>3</sup>
目标值	≤470.00	≤224.00	≤40.00	≤1.50	≤3.50	≤16.00	≤52.00	≤0.442	≤0.061	≤2.091
考核值	470.235	214.855	9.345	0.297	2.399	16.003	45.391	0.227	0.026	1.811

### 3.3 产品质量

考核期间共对11批次产品进行分析，结果见

表8。有3批次一次下线产品总养分未达标，但通过包装前的混配，最终产品全部合格。

表8 考核期间产品质量统计表

Table 8 Product quality statistics during the assessment period

日期	w(总养分)/%	w(氮)/%	w(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 有效)/%	w(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 水溶)/%	w(H <sub>2</sub> O)/%	粒径1~4 mm 占比/%	粒径2.5~4.0 mm 占比/%	粒子圆润度/%
7月15	64.57	17.23	47.34	—	2.20	98.70	91.50	80.00
	63.94	17.21	46.73	41.52	1.96	99.80	90.90	80.00
	64.09	17.16	46.93	—	2.36	99.40	90.10	81.00
7月16	63.98	17.31	46.67	42.18	1.96	99.80	90.80	81.00
	64.24	17.26	46.98	—	2.14	99.20	92.50	82.00
	63.69	17.37	46.32	41.71	1.90	98.70	91.50	80.00
	64.08	17.33	46.75	—	2.43	99.60	90.70	81.00
7月17	64.09	17.29	46.80	41.88	2.46	98.90	90.00	81.00
	64.63	17.41	47.22	—	2.32	98.50	92.30	82.00
	64.01	17.43	46.58	41.91	2.21	99.80	90.00	87.00
	64.13	17.30	46.83	41.84	2.19	99.24	92.03	81.50

通过对装置双管式反应器工艺产品质量的观察，产品总体上透性改善明显，达到技术改造目的。

装置性能考核期间产品包裹涂油稳定、控制有效，外观颜色相对稳定，满足考核要求。

考核期间在烟囱37 m处取1组（3个）样进行分析，3个样均未检测出氨，指标达到考核指标要求； $\rho$ (氟化物)平均值为3.48 mg/m<sup>3</sup>（qm为1.29 kg/h），达标排放； $\rho$ (颗粒物)平均值为17.46 mg/m<sup>3</sup>（qm为6.46 kg/h），达标排放（见表9）。

表9 烟囱排放尾气分析

Table 9 Analysis of exhaust gas in chimney emission

项目	NH <sub>3</sub>		氟化物		颗粒物		排气风量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )
	$\rho$ /(mg·m <sup>-3</sup> )	$q_m$ /(kg·h <sup>-1</sup> )	$\rho$ /(mg·m <sup>-3</sup> )	$q_m$ /(kg·h <sup>-1</sup> )	$\rho$ /(mg·m <sup>-3</sup> )	$q_m$ /(kg·h <sup>-1</sup> )	
1	未检出	未检出	4.17	1.56	22.51	8.40	173 281
2	未检出	未检出	2.78	0.95	13.45	4.61	202 970
3	未检出	未检出	3.49	1.32	16.42	6.21	178 378
平均	0	0	3.48	1.29	17.46	6.46	164 876

## 4 双管式反应器改造后产生的效益

### 4.1 间接经济效益

装置生产工况及产品质量稳定,产品粒度均匀性提高,外观质量改善明显,产品粒径2~4 mm占比从97.50%上升到98.94%,产品粒径2.5~4.0 mm占比从89.54%上升到92.03%,提高了产品的市场信誉度,强化产品的品牌形象,提高了产品的市场竞争能力。

系统操作稳定,避免了产品粒度呈周期性变化,减小了破碎机生产负荷及清理工作量,减轻了操作人员的工作强度。

### 4.2 直接经济效益

系统工况稳定后,产品水分控制稳定、合格率提高,促进了产品总养分稳定控制,包装产品总养分从64.27%(改造前平均值)下降到64.15%(改造后平均值),产品富余量从0.27%下降到0.15%,因总养分变化年可节约总氮1 088.000 t,折合99.5%的合成氨为1 327.782 t。

装置吨产品综合能耗<sup>[9]</sup>从22.506 kg标准煤(改造前)下降到18.479 kg标准煤(改造后),年综合能耗可节约2 577.280 t标准煤。综合能耗下降主要是由于原煤、蒸汽消耗下降。装置吨产品原煤消耗从14.761 kg(改造前)下降到13.901 kg(改造后),年可节约原煤553.664 t;装置吨产品蒸汽消耗从60.612 kg(改造前)下降到25.172 kg(改造后),年可节约蒸汽2 2681.600 t。

若每年以320 d、每天以2 000 t、年产64万t(2015年产643 214.57 t)计,按当期财务预算,氨3 050.00元/t、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2 252.12元/t,原煤0.71元/kg,蒸汽65.00元/t,本项目投入生产运行后,因总养分富余量下降每年减少氨消耗节约费用4 049 735.00元,每年减少原煤消耗节约费用393 101.44元,每年减少蒸汽消耗节约费用1 474 304.00元。合计节约成本591.714万元。因此,本项目投入生产运行后,能产生直接经济效益为591.714万元。

### 4.3 社会效益

双管式反应器改造后,装置生产对低质湿法磷酸的适应性增强,品质相对较低的磷矿资源将得到合理利用,提高了磷矿资源的利用率。

沸腾炉用煤量下降。因用煤量减少,排放的二氧化碳量减少、产品综合能耗下降,促进了节能减排、清洁生产工作的开展。

## 5 结论

通过以上考核及效益分析,表明公司一期600 kt/a磷酸二铵装置进行双管式反应器技术改造后,新增管式反应器运行稳定,满足装置生产过程控制、产品质量控制及装置生产能力方面要求。装置生产的产品在透性(结晶感<sup>[10]</sup>)方面有较大改善,达到预期目的。

### [参考文献]

- [1] 陈五平.无机化工工艺学[M].3版.北京:化学工业出版社,2001.
- [2] 化学工业部建设协调司.化工部硫酸与磷肥设计技术中心.磷酸 磷铵 重钙技术与设计手册[M].北京:化学工业出版社,1997.
- [3] 何朝金.磷铵造粒机技术改造[J].化肥工业,2007(3):28-30.  
HE C J. Technical renovation of ammonia phosphate granulator [J]. Chemical Fertilizer Industry, 2007(3):28-30.
- [4] 黄进,谢燕,李焱,等.磷酸二铵浆体的粘度[J].贵州化工,2009,34(1):4-6.  
HUANG J, XIE Y, LI Y, et al. The viscosity DAP slurry [J]. Guizhou Chemical Industry, 2009,34(1):4-6.
- [5] 王平飞.影响磷酸二铵水分含量的因素与措施[J].云南化工,2015,42(1):69-70.  
WANG P F. Factors affecting the moisture content of DAP and measures [J]. Yunnan Chemical Technology, 2015,42(1):69-70.
- [6] 罗家宝,普志明.磷铵装置造粒尾气洗涤系统工艺优化[J].磷肥与复肥,2016,31(4):39-41.  
LUO C B, PU Z M. Process optimization of granulation tail gas washing system of ammonium phosphate plant [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2016,31(4):39-41.
- [7] 廖国刚,徐春,邓永达,等.600 kt/a大型磷酸二铵装置工艺优化[J].磷肥与复肥,2015,30(4):22-30.  
LIAO G G, XU C, DENG Y D, et al. Process optimization of 600 kt/a large-scale DAP plant [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2015,30(4):22-30.
- [8] 杨晓勤,孙福林,张培,等.用三元相图控制磷酸二铵产品外观质量的研究[J].磷肥与复肥,2015,30(4):12-13.  
YANG X Q, SUN F L, ZHANG P, et al. Research on controlling appearance quality of DAP with ternary phase diagram [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2015,30(4):12-13.
- [9] 孔祥军,黄安莲,邓全洲,等.宜化集团楚星公司700 kt/a磷酸二铵工程建设及开车总结[J].磷肥与复肥,2015,30(7):17-18.  
KONG X J, HUANG A L, DENG Q Z, et al. Summary on construction and trial run of 700 kt/a DAP project in Chuxing Company of Yihua Group [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2015,30(7):17-18.
- [10] 刘峰,王文科,王宝安,等.60 kt/a磷酸二铵装置技术改造[J].磷肥与复肥,2015,30(2):19-20.  
LIU F, WANG W K, WANG B A, et al. Technical renovation of 60 kt/a DAP plant [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2015,30(2):19-20.