

## ◆磷及关联产业工艺创新◆

## 低密度三聚磷酸钠的制备工艺与性能研究

孙勋佳, 孙浩, 程传能, 陈世强, 刘丽

(保康楚烽化工有限责任公司, 湖北 襄阳 441600)

**[摘要]** 基于普通食品级三聚磷酸钠 (STPP) 生产设备, 系统探讨原材料种类、晶种、中和度、喷雾干燥条件及聚合反应条件等参数对产品表现密度的综合影响, 旨在开发一种低密度STPP的制备工艺。优化后的工艺条件包括: 以 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$  85%湿法磷酸和 $w(\text{NaOH})$  48%氢氧化钠为原料, 添加晶种并在中和反应后期引入碳酸钠以产生二氧化碳气体, 控制料浆中和度 ( $n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{P}_2\text{O}_5)$ ) 在3.05左右、喷雾干燥塔顶温度300℃、喷雾压力12 MPa、聚合温度400~450℃、聚合炉转速22~30 r/min, 最终获得的三聚磷酸钠产品密度为0.48 g/cm<sup>3</sup>, 满足高端客户的质量需求。该工艺无需特殊设备或催化剂, 易于工业化推广, 能满足高端市场对低密度三聚磷酸钠的需求。

**[关键词]** 低密度三聚磷酸钠; 制备工艺; 中和度; 喷雾干燥; 聚合温度

**[中图分类号]** TQ126.3<sup>+</sup>5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2026) 04-0030-05

## Research on preparation process and properties of low-density sodium tripolyphosphate

SUN Xunjia, SUN Hao, CHENG Chuanneng, CHEN Shiqiang, LIU Li

(Baokang Chufeng Chemical Co., Ltd., Xiangyang 441600, China)

**Abstract:** Based on the production equipment of ordinary food-grade sodium tripolyphosphate (STPP), the comprehensive effects of raw material types, crystal seeds, neutralization degree, spray drying conditions and polymerization temperature on the apparent density of the product are systematically discussed, aiming to develop a preparation process of low-density STPP. The optimized process conditions include: Using 85% wet-process phosphoric acid and 48% sodium hydroxide as raw materials, adding crystal seeds and introducing sodium carbonate in the later stage of neutralization reaction to produce carbon dioxide gas, controlling the neutralization degree (molar ratio of  $\text{Na}_2\text{O}$  and  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) of the slurry at around 3.05, spray drying tower top temperature of 300℃, spray pressure of 12 MPa, polymerization temperature of 400-450℃, rotational speed of polymerization furnace of 22-30 r/min, the final product density is 0.48 g/cm<sup>3</sup>, which meets the quality requirements of high-end customers. This process does not require special equipment or catalysts, is easy to industrialize, and can meet the demand of the high-end market for low-density STPP.

**Key words:** low-density sodium tripolyphosphate (STPP); preparation process; neutralization degree; spray drying; polymerization temperature

## 0 引言

三聚磷酸钠是我国磷酸盐系列产品中分布最为广泛、产能最大的磷酸盐产品<sup>[1]</sup>。三聚磷酸钠常用于食品制造领域, 作为品质改良剂、水分保持剂、pH调节剂、金属螯合剂等。

随着经济的不断发展和人口的不断增长, 世界各国对磷酸盐产品的需求量也在持续增加。近年来, 将几种磷酸盐产品按配方混合起来使用, 以增强其功效或性能的复配磷酸盐的发展, 更是促进了三聚磷酸钠的发展。如何满足不同层次客户的质量

需求和潜在需要, 实现三聚磷酸钠产品多档次多用途, 并实现与客户互利双赢是当前磷酸盐行业发展的重要方向<sup>[2]</sup>。

三聚磷酸钠生产工艺主要分为一步法和二步法<sup>[3]</sup>, 简言之, 如果将正磷酸盐溶液直接制备为三聚磷酸钠, 则称为一步法; 如果正磷酸盐先制备为无水正磷酸盐, 再缩聚为三聚磷酸钠, 称为二步法<sup>[4]</sup>。

根据文献, 三聚磷酸钠的真密度约为2.6 g/cm<sup>3</sup><sup>[4]</sup>。磷酸盐行业内三聚磷酸钠常用松密度 (或表现密

收稿日期: 2025-08-03; 修回日期: 2026-01-22

作者简介: 孙勋佳 (1987—), 男, 湖北武汉人, 注册安全工程师, 化工工程师, 长期从事无机磷酸盐产品的生产研究工作。

度)表示单位体积的质量,简称密度。按密度来分类,三聚磷酸钠可分为低密度三聚磷酸钠(密度在 $0.5\text{ g/cm}^3$ 以下)、中密度三聚磷酸钠(密度在 $0.5\sim 0.7\text{ g/cm}^3$ )和高密度三聚磷酸钠(密度在 $0.7\text{ g/cm}^3$ 以上),其中中密度三聚磷酸钠用途最为广泛<sup>[5]</sup>。

低密度三聚磷酸钠生产工艺比较难控制,虽然目前国内外市场用量不大,但产品利润相对较高<sup>[6]</sup>。用来改变三聚磷酸钠产品密度的方法主要分为三大类:第一类是在料浆中添加一些物质,如碳酸钠和低价磷化合物等,利用其特性来改变三聚磷酸钠产品的密度;第二类是对三聚磷酸钠产品再进行一些物理加工,如粉磨或分级等<sup>[7]</sup>;第三类是选用带螺旋式压力喷嘴,使料液形成空心锥雾状,以达到良好的雾化效果,通过调节雾化参数来达到所需的粒度分布<sup>[8]</sup>。

为了解决低密度三聚磷酸钠制备的技术难题,本研究在二步法食品级三聚磷酸钠生产线基础上,考察原材料种类、品种、中和度、喷雾干燥条件、聚合温度等参数<sup>[9]</sup>对三聚磷酸钠密度的综合影响,最终制得密度为 $0.48\text{ g/cm}^3$ 的三聚磷酸钠产品,满足高端客户的质量需求。

## 1 实验部分

### 1.1 实验主要原材料

食品级磷酸;湿法磷酸,  $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$  85%; 氢氧化钠,  $w(\text{NaOH})$  48%; 碳酸钠,  $w(\text{Na}_2\text{CO}_3)$  99%。

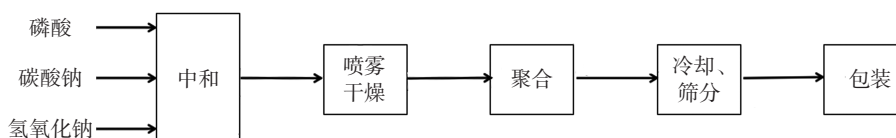


图1 三聚磷酸钠制备工艺流程

Fig. 1 Preparation process of sodium tripolyphosphate

## 2 结果与讨论

### 2.1 原材料的组合对三聚磷酸钠密度的影响

本文分别采用湿法磷酸和食品级磷酸为原材料,与氢氧化钠、碳酸钠反应制备低密度三聚磷酸钠。加入一定量三聚磷酸钠晶种,不采用蒸汽加热,调整中和料浆的中和度 $2.95\sim 3.05$ 和相对密度 $1.65$ ,控制中和反应时间 $2.5\text{ h}$ 。煤气压力 $5.0\text{ kPa}$ 左右,干燥温度 $290\sim 310\text{ }^\circ\text{C}$ ,高压泵频率 $29\text{ Hz}$ ,喷枪喷嘴全部更换为孔径 $2.0\text{ mm}$ ,调节泵压至 $12\text{ MPa}$ 。聚合温度 $(450\pm 10)\text{ }^\circ\text{C}$ ,聚合炉转速 $30\text{ r/min}$ ,不开启破碎机,采用冷却滚筒间接给三聚磷酸钠产品降温。不同原材料生产的三聚磷酸钠产品主要指标见表1。

### 1.2 实验主要设备

磷酸储罐、氢氧化钠储罐、碳酸钠堆场、磷酸过滤器、氢氧化钠过滤器、1#中和反应釜、2#中和反应釜、料浆储罐、料浆过滤器、喷雾干燥塔、聚合炉、冷却滚筒、破碎机、旋振筛、电感耦合等离子体光谱仪(ICP)、色谱仪等。

### 1.3 实验方法

向中和反应釜中加入工艺水并进行升温,提高中和反应釜起始温度,加入一定量的三聚磷酸钠晶种,在搅拌条件下,同时缓慢加入过滤后的氢氧化钠和磷酸,全程不加蒸汽;投料结束反应一段时间后,向中和反应釜内加入一定量的碳酸钠,降低搅拌转速。再熟化 $0.5\text{ h}$ 后,取样检测中和料浆中和度和相对密度,将合格的中和料浆经过二次过滤后通过高压泵(频率 $29\text{ Hz}$ ),经喷嘴喷入喷雾干燥塔中干燥脱水,喷雾干燥塔塔顶温度为 $(300\pm 5)\text{ }^\circ\text{C}$ 。干燥后的物料送入旋转的聚合炉内进行聚合反应,调节聚合炉头温度 $(450\pm 10)\text{ }^\circ\text{C}$ ,聚合炉转速 $30\text{ r/min}$ 左右,一批物料在聚合炉中的停留时间控制在 $10\sim 15\text{ min}$ ,再通过冷却、筛分后包装成品,得到三聚磷酸钠产品。

说明:中和反应釜内料浆是使用磷源和碱源反应一段时间后,得到的磷酸二氢钠和磷酸氢二钠、磷酸钠、水的混合物,用比重计检测其相对密度。

实验流程见图1。

由表1可知,先使用磷源和碱源反应,后加入碳酸钠,制备的三聚磷酸钠密度在 $0.5\text{ g/cm}^3$ 左右,不加碳酸钠生产的三聚磷酸钠产品密度在 $0.7\text{ g/cm}^3$ 。由于湿法磷酸中的杂质受到磷矿产地、磷矿品位和磷矿中杂质的影响,尽管通过静置、沉降、脱硫等方法进行净化,但仍无法与食品级磷酸品质相比<sup>[10]</sup>。因此,以湿法磷酸为磷源的三聚磷酸钠产品与以食品级磷酸为磷源的产品质量有差距。

对于质量需求较高的客户,建议使用食品级磷酸、氢氧化钠、碳酸钠法制备低密度三聚磷酸钠。但是从能耗、生产成本、资源综合利用率、环境友好等方面来考虑,湿法磷酸比食品级磷酸更加有优势<sup>[11]</sup>。

表1 不同原材料生产的三聚磷酸钠指标对比

Table 1 Comparison of indicator of sodium tripolyphosphate produced by different raw materials

原料	w(三聚磷酸钠)/%	w(总磷酸盐)/%	白度/%	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	pH	w(水不溶物)/%	w(F)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(铅)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(砷)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(重金属)/(mg·kg <sup>-1</sup> )
湿法磷酸和氢氧化钠、碳酸钠	98.5	57.9	96.5	0.48	9.9	0.02	12	1.1	1.0	8
食品级磷酸和氢氧化钠、碳酸钠	98.4	57.8	96.6	0.49	9.8	0.01	10	1.0	0.8	6
湿法磷酸和氢氧化钠	98.1	57.5	96.3	0.69	9.8	0.02	12	1.1	1.1	8
食品级磷酸和氢氧化钠	98.2	57.4	96.2	0.65	9.8	0.02	10	1.0	1.0	7

### 2.2 晶种对三聚磷酸钠密度的影响

为考察晶种对三聚磷酸钠密度的影响，分别进行添加、不添加三聚磷酸钠晶种实验。提前向中和反应釜内投入热水和晶种，用湿法磷酸与氢氧化钠、碳酸钠反应制备低密度三聚磷酸钠，不采用蒸汽加热，调整中和料浆中和度2.95~3.05和相对密

度1.65，煤气压力5.0 kPa左右，干燥温度290~310℃，高压泵频率29 Hz，喷枪喷嘴全部更换为孔径2.0 mm，调节泵压至12 MPa，聚合温度(450±10)℃，聚合炉转速30 r/min，不开启破碎机，采用冷却滚筒间接给三聚磷酸钠产品降温，所得三聚磷酸钠产品主要指标见表2。

表2 晶种对三聚磷酸钠产品指标的影响

Table 2 Effect of crystal seed on the indicator of sodium tripolyphosphate

项目	w(三聚磷酸钠)/%	w(总磷酸盐)/%	白度/%	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	pH	w(水不溶物)/%	w(F)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(铅)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(砷)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(重金属)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	反应时间/h	产品均匀性
加晶种	98.5	57.9	96.5	0.49	9.9	0.02	12.2	1.1	1.1	8	2.0	均匀
不加晶种	98.5	57.8	96.4	0.67	9.8	0.02	12.0	1.0	1.0	7	2.5	比较均匀

由表2可知，制备三聚磷酸钠时，加晶种和不加晶种，两者除了产品密度指标有一定区别（不加晶种时密度为0.67 g/cm<sup>3</sup>）外，其他指标均无较大变化；加入晶种后，反应时间缩短20%，产品更加均匀。

加晶种的主要目的是加速三聚磷酸钠的结晶过程，较好地控制三聚磷酸钠晶体粒度和分布，可确保三聚磷酸钠结晶的稳定性。

加入晶种后，引导结晶朝着预计的方向进行，形成具有特定晶型和形态的晶体。通过选择合适粒度和数量的晶种，并控制结晶过程中的温度、搅拌转速等变量，可以得到粒度均匀、大小合适的三聚磷酸钠产品。

### 2.3 料浆中和度对三聚磷酸钠密度的影响

磷酸和氢氧化钠反应方程式为：



料浆中和度用来表征氢氧化钠中和磷酸的程度，用氧化钠与五氧化二磷的摩尔比表示 ( $n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{P}_2\text{O}_5)$ )，也叫钠磷比、中和度、K值等。料浆中和度是三聚磷酸钠生产中一个十分重要的参数<sup>[12]</sup>。

为了探究最佳的料浆中和度，以料浆中和度为变量，将中和度在2.80~3.10范围内进行实验。向中和反应釜内投入热水和晶种，用湿法磷酸与氢氧

化钠、碳酸钠反应，不采用蒸汽加热，调整料浆中和度2.80~3.10和相对密度1.65，煤气压力5.0 kPa左右，喷雾干燥温度290~310℃，高压泵频率29 Hz，喷枪喷嘴孔径2.0 mm，调节泵喷雾压力至12 MPa，聚合温度(450±10)℃，聚合炉转速30 r/min，不开启破碎机，采用冷却滚筒间接给三聚磷酸钠产品降温，所得三聚磷酸钠主要指标情况见表3。

表3 料浆中和度对三聚磷酸钠密度的影响

Table 3 Influence of neutralization degree of slurry on density of sodium tripolyphosphate

序号	料浆中和度	干燥温度/℃	聚合温度/℃	w(三聚磷酸钠)/%	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
1	2.80	310	450	95.3	0.73
2	2.85	310	450	95.5	0.71
3	2.95	310	450	95.8	0.61
4	3.05	310	450	96.1	0.49
5	3.10	310	450	96.5	0.47

由表3可知，当使用湿法磷酸和氢氧化钠、碳酸钠反应制备低密度三聚磷酸钠时，料浆中和度在2.80~2.95，产品密度较高；当中和度超过2.95以后，三聚磷酸钠产品的主含量呈现上升趋势，密度

下降。综合考虑三聚磷酸钠产品指标，料浆中和度取3.05附近。

#### 2.4 喷雾干燥温度对三聚磷酸钠密度的影响

本节料浆中和度取3.05，在2.3节的实验基础上将喷雾干燥温度设置为280~315℃，产品指标见表4。

表4 喷雾干燥温度对三聚磷酸钠密度的影响

Table 4 Effect of spray drying temperature on density of sodium tripolyphosphate

序号	喷雾干燥塔顶温度/℃	w(三聚磷酸钠)/%	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
1	280	94.8	0.65
2	285	95.1	0.62
3	290	95.8	0.61
4	295	96.4	0.58
5	300	97.2	0.48
6	305	97.0	0.49
7	310	97.3	0.49
8	315	97.5	0.50

由表4可知，在保持其他条件不变的前提下，喷雾干燥塔塔顶温度控制在300℃左右，得到的三聚磷酸钠密度(0.48 g/cm<sup>3</sup>)最为符合要求。

#### 2.5 喷雾压力对三聚磷酸钠密度的影响

本节料浆中和度取3.05，在2.4节的实验基础上将喷雾压力设置为5.0~12.0 MPa，产品指标见表5。

表5 喷雾压力对三聚磷酸钠密度的影响

Table 5 Effect of spray drying pressure on density of sodium tripolyphosphate

序号	喷雾压力/MPa	w(三聚磷酸钠)/%	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
1	5.0	95.2	0.63
2	6.0	95.3	0.60
3	7.0	96.1	0.59
4	8.0	96.3	0.55
5	9.0	96.6	0.48
6	10.0	96.8	0.48
7	11.0	97.1	0.46
8	12.0	97.4	0.45

由表5可知，在保持其他条件不变的前提下，喷雾干燥塔喷雾压力控制在9.0~12.0 MPa，得到的三聚磷酸钠密度符合要求。意味着较高的喷雾压力具有较高的能量，会使雾滴粒度减小，有利于低密度三聚磷酸钠的形成。

#### 2.6 喷雾角度对三聚磷酸钠密度的影响

本节在2.5节实验的基础上，以喷雾角度为

变量，将喷雾角度设置为60°~120°，产品指标见表6。

表6 喷雾角度对三聚磷酸钠密度的影响

Table 6 Effect of spray angle on density of sodium tripolyphosphate

序号	喷雾角度/(°)	w(三聚磷酸钠)/%	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
1	60	95.2	0.61
2	70	95.3	0.59
3	80	96.1	0.56
4	90	96.5	0.49
5	100	96.9	0.48
6	110	97.5	0.48
7	120	97.5	0.47

由表6可知，在保持其他条件不变的前提下，喷射角越大，形成的三聚磷酸钠雾滴较小，得到的产品密度越小。因此，应选用喷射角大的雾化器。但是，过大的喷射角会造成喷射半径过大造成产品黏壁现象。所以喷射角应选择90°~120°范围。

#### 2.7 聚合温度对三聚磷酸钠密度的影响

本节喷雾角度取90°，将聚合炉头温度作为单一变量，在2.6节的实验基础上将聚合温度设置为440~550℃进行实验，产品指标见表7。

表7 聚合温度对三聚磷酸钠密度的影响

Table 7 Effect of polymerization temperature on density of sodium tripolyphosphate

序号	聚合温度/℃	w(三聚磷酸钠)/%	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
1	400	96.5	0.49
2	410	96.7	0.49
3	420	97.2	0.48
4	430	97.1	0.46
5	440	96.8	0.48
6	450	96.2	0.49
7	460	96.0	0.54

由表7可知，三聚磷酸钠的聚合温度控制在400~450℃，产品w(三聚磷酸钠)、密度指标情况较好。若聚合温度过高，产品中呈现大量的高温型三聚磷酸钠，聚合时易结块，影响产品密度。若聚合温度过低，聚合反应速率较慢，反应不完全。因此，一般控制聚合温度为400~450℃较合适。

#### 2.8 聚合炉转速对三聚磷酸钠密度的影响

本节聚合温度取450℃，将聚合炉转速作为单一变量，在2.7节的实验基础上将聚合炉转速设置为14~32 r/min进行实验，产品指标见表8。

表8 聚合炉转速对三聚磷酸钠密度的影响  
Table 8 Effect of rotation speed of polymerization furnace on density of sodium tripolyphosphate

序号	聚合炉转速/(r·min <sup>-1</sup> )	w(三聚磷酸钠)/%	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
1	14	97.3	0.55
2	16	97.1	0.53
3	18	96.9	0.52
4	20	96.8	0.52
5	22	96.5	0.50
6	24	96.4	0.49
7	26	96.2	0.47
8	28	96.0	0.47
9	30	95.8	0.50
10	32	95.6	0.51

由表8可知,其他参数不变时,聚合炉转速越快,物料在聚合炉内停留时间越短,物料聚合不完全,导致三聚磷酸钠主含量偏低。相反,物料在聚合炉内停留时间过长,虽然有利于产品发生聚合反应,但由于停留时间过长,物料在聚合炉内较多,聚合炉若长时间超负荷运行可能造成装置停车。同时,产品在旋转过程中会挤压、破碎等造成三聚磷酸钠粒度不合格。聚合炉的转速为22~30 r/min时,产品w(三聚磷酸钠)、密度指标情况较好。

### 3 实验结论

在普通食品级三聚磷酸钠生产设备基础上,通过考察原材料种类、品种、中和度、喷雾干燥温度及压力、聚合温度及转速等参数对三聚磷酸钠密度的综合影响,得出如下结论:以w(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)85%的湿法磷酸、w(NaOH)48%的氢氧化钠为原料,加入一定量的三聚磷酸钠晶种,不加催化剂,全程不加蒸汽,待反应20 min后缓慢加入一定量碳酸钠(以保证料浆中有足够的二氧化碳气体),使中和温度降至80℃左右,控制料浆中和度3.05左右,合格料浆过滤备用;调节高压泵频率为29 Hz,喷枪喷嘴孔径采用2.0 mm,控制聚合炉温度400~450℃、转速22~30 r/min,关闭破碎机;最终制备的低密度三聚磷酸钠产品密度为0.48 g/cm<sup>3</sup>,能够满足高端客户的质量需求。

本研究制备的低密度三聚磷酸钠,在水中能快速溶解完全,且产品用于复配磷酸盐产品时口感更

好,提高产品应用效果。该套工艺技术成熟、设备适应性强,可实现工业化生产,节约设备投资,市场前景好。

### [参考文献]

- [1] 陈建江,杨陆华.三聚磷酸钠生产装置的多功能化研究[J].无机盐工业,2012,44(10):54-56.  
CHEN J J, YANG L H. Research on multi-functionalization of production devices of sodium tripolyphosphate [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2012, 44(10):54-56.
- [2] 宋锡高.我国三聚磷酸钠发展方向探讨[J].贵州化工,2007,32(4):23-27.  
SONG X G. Probe into development of sodium tripolyphosphate in China[J]. Guizhou Chemical Industry, 2007, 32(4):23-27.
- [3] 陈嘉甫,谭光薰.磷酸盐的生产与应用[M].成都:成都科技大学出版社,1989.
- [4] 杨承信.三聚磷酸钠生产[M].北京:轻工业出版社,1988.
- [5] 徐永祥.低密度三聚磷酸钠产品生产的探索[J].现代化工,2007,27(10):58-60.  
XU Y X. Exploration of production of low density sodium tripolyphosphate [J]. Modern Chemical Industry, 2007, 27(10):58-60.
- [6] 王家伦.高密度三聚磷酸钠的研制和生产[J].安徽化工,1998(1):22-24.
- [7] 王瑞祥.转炉一步法生产低密度三聚磷酸钠[J].无机盐工业,2002,34(3):40.
- [8] 葛斌.不同表观密度的三聚磷酸钠生产[J].硫磷设计与粉体工程,2002(6):36-39.  
GE B. The production of sodium tripolyphosphate (STPP) with different apparent density [J]. S P & BMH Related Engineering, 2002(6):36-39.
- [9] 孙勋佳,李斌,程传能,等.一种生产超低密度三聚磷酸钠的方法:CN20241037 8770.3[P].2024-11-01.
- [10] 刘江林,曾波.湿法磷酸制三聚磷酸钠——酸净化工艺实验研究[J].贵州化工,2007,32(5):19-21,30.  
LIU J L, ZENG B. Research on Refining of Phosphoric Acid by Dihydrate—Process Used in Sodium Tripolyphosphate Preparation [J]. Guizhou Chemical Industry, 2007, 32(5):19-21,30.
- [11] 钟本和,方为茂,李军,等.浅谈我国高纯磷化工发展方向[J].中国石油和化工标准与质量,2010,30(8):22-25,32.  
ZHONG B H, FANG W M, LI J, et al. Discussion on the Development Direction of high purity phosphorus Chemical industry in China [J]. China Petroleum and Chemical Industry Standards and Quality, 2010, 30(8):22-25,32.
- [12] 王颖莉.提高湿法磷酸生产三聚磷酸钠质量的措施[J].硫磷设计与粉体工程,2000(2):46-47.  
WANG Y L. Measures to improve the quality of sodium tripolyphosphate produced with wet process phosphoric acid [J]. S P & BMH Related Engineering, 2000(2):46-47.