

一种低pH值六偏磷酸钠制备工艺研究

孙勋佳, 张锐, 程传能

(保康楚烽化工有限责任公司, 湖北 襄阳 441600)

[摘要] 六偏磷酸钠是使用最为广泛的功能性磷酸盐之一。为了解决六偏磷酸钠产品pH值高、非活性磷酸盐含量高、质量不稳定等难题,在普通六偏磷酸钠生产线上,重点考察原材料种类、反应促进剂、催化剂用量、中和料浆pH值、熔聚温度、生熟料比例、停留时间、骤冷机转速等条件对六偏磷酸钠产品指标的影响。结果表明,以 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%的湿法磷酸、质量分数99%的纯碱为原料,在中和料浆pH值为3.9~4.1、利用硝酸铝钾水合物为催化剂、熔聚温度为640~680℃、 $m(\text{生料}):m(\text{熟料})$ 为1:(2~3)、加入1%反应促进剂的条件下,成功制备出低pH值的食品级六偏磷酸钠。该工艺产品质量稳定,总磷酸盐、非活性磷酸盐等指标较好,技术成熟,设备适应性强,可实现工业化生产。

[关键词] 六偏磷酸钠; 低pH值; 中和度; 熔聚温度; 催化剂

[中图分类号] TQ131.12 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 06-0079-05

Study on preparation technology of sodium hexametaphosphate with low pH value

SUN Xunjia, ZHANG Rui, CHENG Chuanneng

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

Abstract: Sodium hexametaphosphate is one of the most widely used functional phosphates. In order to solve the problems such as high pH value, excessive inactive phosphate, unstable quality of sodium hexametaphosphate products, using the ordinary sodium hexametaphosphate production line, the influence of raw material type, reaction accelerator, amount of catalyst, pH value of neutral slurry, fusion temperature, proportion of raw clinker, residence time, quench cooling and other conditions on the indexes of sodium hexametaphosphate products is investigated. The results show that a food grade sodium hexametaphosphate with low pH is successfully prepared with $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85% wet-process phosphoric acid and 99% soda ash as raw materials, under the conditions: the pH value of the neutralizing slurry is 3.9 - 4.1, the catalyst is potassium aluminum nitrate hydrate, the fusion temperature is 640 - 680 °C, the mass ratio of raw clinker is 1: (2-3), and 1% reaction promoter is added. The product of the process is stable, the total phosphate, inactive phosphate and other indicators are good, the technology is mature, the equipment is adaptable, and the industrial production can be realized.

Key words: sodium hexametaphosphate; low pH value; neutralization degree; fusion temperature; catalyst

0 引言

磷酸盐主要分为饲料级磷酸盐、工业级磷酸盐和食品级磷酸盐。其中,六偏磷酸钠是使用最为广泛的功能性磷酸盐之一,在食品工业中常作为品质改良剂、pH调节剂、金属离子螯合剂、黏着剂和膨胀剂等,还可应用到洗涤和水处理、冶金、金属防腐、选矿、纤维等领域^[1],用作缓蚀剂、浮选剂、分散剂、高温结合剂、染色助剂、金属表面处理剂、防锈剂等^[2]。

我国六偏磷酸钠生产工艺有磷酸二氢钠法、磷酸酐法、磷酸和食盐法、磷铁法^[2-3],目前主流方法是

磷酸二氢钠法。磷酸二氢钠法是采用磷酸与纯碱按一定比例在中和锅内进行中和反应,制得磷酸二氢钠为主要成分的中和料浆,过滤后将合格的中和料浆在高温下进行熔聚反应,然后骤冷制备得到六偏磷酸钠^[4]。

六偏磷酸钠是发展前景最好的精细磷酸盐产品之一,但目前我国六偏磷酸钠的生产规模小、产品品种单一、产品质量不稳定。六偏磷酸钠根据

[收稿日期] 2025-02-16

[作者简介] 孙勋佳(1987-),男,湖北武汉人,硕士,化工工程师,注册安全工程师,长期从事磷酸盐产品的生产研究工作。

pH值分为低、中、高pH值产品。一般将pH值在6.6~7.5的产品称为高pH值六偏磷酸钠，将pH值在5.8~6.5的产品称为中pH值六偏磷酸钠，将pH值在5.3~5.7的产品称为低pH值六偏磷酸钠。部分高端客户期望低pH值六偏磷酸钠，但是，当pH值低时也会造成非活性磷酸盐含量高、灼烧减量高、产品不稳定、不均匀等缺点。因此，开发规模化、多功能的六偏磷酸盐生产工艺对我国精细磷化工产品多元化发展尤为重要^[4]。

为了解决低pH值六偏磷酸钠生产的技术难题，笔者在六偏磷酸钠生产线基础上，重点考察原材料种类、反应促进剂、催化剂用量、中和料浆pH值、熔聚温度、生熟料比例、停留时间、骤冷机转速等条件对低pH值六偏磷酸钠产品的影响。

1 实验部分

1.1 实验主要原材料

湿法磷酸，食品级， $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%；热法磷酸， $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%；液碱， $w(\text{NaOH})$ 48%；纯碱， $w(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ 99%；催化剂，硝酸铝钾；反应促进剂，六偏磷酸钠、三聚磷酸钠等。

1.2 实验主要设备

磷酸储罐、液碱储罐、纯碱储罐、磷酸过滤器、液碱过滤器、中和锅、料浆储罐、料浆过滤器、熔聚炉、骤冷机等。

1.3 实验方法

(1) 中和：先向中和锅内加入工艺水，再加入反应促进剂，用蒸汽升温，同时加入碱源和磷源，提高搅拌速度，加入液碱用量0.09%的催化剂。继

续反应60 min至料浆为黏稠状，控制料浆的pH值稳定至4.0左右，调节料浆密度至 1.7 g/cm^3 ，复测合格后，将中和料浆过滤后备用。

(2) 熔聚：将中和料浆输送到熔聚炉中，熔聚温度控制在 $660 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右；控制生料和熟料质量比例1:(2~3)（生料指刚进入熔聚炉的中和料浆，熟料指中和料浆在熔聚炉内反应一段时间后的熔融状半成品）。

(3) 骤冷：将熔聚的六偏磷酸钠半成品通过骤冷机冷却，控制冷却时间，生成透明玻璃状六偏磷酸钠，再通过破碎、筛分等得到低pH值六偏磷酸钠产品。

2 结果与讨论

2.1 原材料对六偏磷酸钠指标的影响

采用湿法磷酸和热法磷酸与液碱或纯碱反应制备低pH值六偏磷酸钠。加入一定量反应促进剂，采用蒸汽加热到 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ，同时加入磷源和碱源，继续反应60 min至料浆为黏稠状，控制料浆的pH值稳定至4.0左右，调节中和料液的密度 1.7 g/cm^3 ，复测合格后，将中和料浆过滤后备用。将过滤后的中和料浆输送到熔聚炉中，熔聚温度控制在 $640 \sim 680 \text{ }^\circ\text{C}$ ，停留时间控制在30 min左右；生料和熟料质量比控制在1:2。将熔聚得到的半成品通过骤冷机冷却，骤冷机转速控制在 40 r/min ，时间控制在10 min左右，冷却至 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ，生成透明玻璃状六偏磷酸钠。再通过后续的破碎、筛分处理得到六偏磷酸钠产品。不同原材料对六偏磷酸钠指标的影响见表1。

表1 不同原材料对六偏磷酸钠指标的影响

Table 1 Effect of different raw materials on indexes of sodium hexametaphosphate

原料	$w(\text{总磷酸盐})/\%$	$w(\text{非活性磷酸盐})/\%$	pH值	$w(\text{灼烧减量})/\%$	$w(\text{Fe})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{As})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{重金属})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{Pb})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{氟化物})/\%$	$w(\text{水不溶物})/\%$
湿法磷酸和液碱	67.2	7.2	5.5	0.4	160	2.0	9	2.2	<0.002	0.05
热法磷酸和液碱	67.4	7.1	5.3	0.3	135	1.6	7	1.8	<0.0015	0.04
湿法磷酸和纯碱	67.3	7.3	5.4	0.4	155	1.9	8	2.1	<0.021	0.05
热法磷酸和纯碱	67.5	7.1	5.2	0.3	142	1.5	7	1.7	<0.0014	0.03
GB 1886.4—2020 要求	≥ 67.0	≤ 7.5	5.0~7.5	≤ 1.0	≤ 200	≤ 3.0	≤ 10	≤ 4.0	≤ 0.003	≤ 0.06

由表1可知，使用湿法磷酸和热法磷酸与纯碱或液碱能都制备出pH值在5.5左右的六偏磷酸钠。但是就产品品质而言，湿法磷酸中的杂质受到磷矿产地、品位和杂质的影响，尽管通过静置、沉降、脱硫等方法进行净化，但仍无法与热法磷酸相比^[5]，同等条件下使用热法磷酸制备的六偏磷酸钠在pH

值、总磷酸盐含量、非活性磷酸盐含量等指标上占有优势。

但是，热法磷酸生产的高能耗和高污染问题，使其面临资源、能源和环境的多重压力。采用湿法磷酸提纯路线替代热法磷酸工艺生产工业级、食品级、医药级、电子级精细磷化工产品，可以减少环境

污染, 节能降耗, 符合国家科学发展观的要求^[6]。综合各方面因素, 得出以 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%的湿法磷酸、 $w(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ 99%的纯碱为原料制备低pH值六偏磷酸钠性价比最好。

2.2 反应促进剂对六偏磷酸钠指标的影响

以反应促进剂添加量为变量, 采用湿法磷酸和液碱反应至料浆为黏稠状, 控制料浆的pH值稳定至4.0左右, 调节中和料液的密度 1.7 g/cm^3 , 复测

合格后将中和料浆过滤备用。将过滤后的中和料浆输送到熔聚炉中, 熔聚温度控制在 $640 \sim 680 \text{ }^\circ\text{C}$, 停留时间控制在30 min左右, 生料和熟料质量化控制在1:2。将熔聚的半成品通过骤冷机冷却, 骤冷机转速控制在40 r/min, 时间控制在10 min左右, 冷却至 $50 \text{ }^\circ\text{C}$, 生成透明玻璃状六偏磷酸钠。通过后续的破碎、筛分处理得到六偏磷酸钠产品。反应促进剂用量对六偏磷酸钠产品指标的影响见表2。

表2 反应促进剂对六偏磷酸钠产品指标的影响

Table 2 Effect of reaction accelerators on indexes of sodium hexametaphosphate

反应促进剂 添加量/%	$w(\text{总磷酸盐})/\%$	$w(\text{非活性磷酸盐})/\%$	pH 值	$w(\text{灼烧减量})/\%$	$w(\text{Fe})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{As})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{重金属})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{Pb})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{氟化物})/\%$	$w(\text{水不溶物})/\%$	反应 时间/h
0	67.2	7.3	5.7	0.4	160	2.0	9	2.2	<0.002	0.05	2.2
0.5	67.3	7.2	5.5	0.3	139	1.6	8	1.9	<0.002	0.05	2.0
1.0	67.4	7.2	5.4	0.3	158	2.0	9	2.2	<0.002	0.04	1.8
5.0	67.5	7.1	5.2	0.3	152	1.7	8	1.8	<0.002	0.03	1.5

由表2可知, 制备六偏磷酸钠时, 加反应促进剂对于六偏磷酸钠的总磷酸盐含量、非活性磷酸盐含量、pH值等有一定积极影响; 加入反应促进剂后, 反应时间有明显的减少。说明加入反应促进剂后, 引导结晶朝着预想的方向进行, 形成了特定的晶型。通过选择合适粒度和数量的品种, 并控制结晶过程中的温度、搅拌速度等变量, 可以得到粒度均匀、质量稳定的六偏磷酸钠产品。

2.3 催化剂对六偏磷酸钠指标的影响

制备六偏磷酸钠使用催化剂, 主要起到加快反应速率、缩短反应时间的作用。现有催化剂主要有硝酸钠、硝酸铵、硝酸钾、尿素、磷酸铵、草酸、醋酸盐、甲酸盐等^[7]。

众所周知, 过量的硝酸盐和亚硝酸盐对人体是有害的。2017年10月世界卫生组织公布的致癌清单中, 在导致内源性亚硝化条件下摄入的硝酸盐或亚硝酸盐在2A类致癌物清单中, 且硝酸盐、亚硝酸盐一般溶解于水, 很难使用化学沉淀法、中和法等除掉。结合客户特殊要求, 通过选用硝酸铝钾, 引入了钾离子, 有利于提高复配磷酸盐的口感和产品溶解性。在确保反应正常的前提下, 进行了催化剂减量实验, 以降低六偏磷酸钠产品中硝酸盐含量, 最终将催化剂硝酸铝钾的用量由原来的0.15%调整为0.075%~0.100%, 可以保证六偏磷酸钠产品中硝酸盐质量分数低于0.000 4%。此外, 将催化剂的加入时间提前, 便于快速地分散到中和锅中, 最大限度对锅中物料起到催化作用,

防止因搅拌不到位、催化剂分散不均匀等导致中和锅内局部反应不充分, 影响六偏磷酸钠产品均匀性和稳定性。

2.4 料浆pH对六偏磷酸钠指标的影响

料浆中和度表明液碱中和磷酸的程度, 用氧化钠与五氧化二磷的摩尔比表示, 也叫钠磷比、K值等。以前料浆中和度是六偏磷酸钠生产的一个重要参数^[8]。但是因六偏磷酸钠使用湿法磷酸作原料, 反应过程中存在焦磷酸钠、三聚磷酸钠、草甘膦二钠等副产物, 加上检验误差, 导致料浆中和度波动比较大, 造成检测的中和度不可信^[9], 无法准确指导生产。通过控制料浆的pH为3.9~4.6, 能够稳定产品的pH值, 尤其是控制料浆pH 3.9~4.0, 对应的六偏磷酸钠产品pH为5.3~5.5, 满足顾客特殊质量需求。

2.5 熔聚温度对六偏磷酸钠指标的影响

采用湿法磷酸和液碱反应至料浆为黏稠状, 控制料浆的pH稳定至4.0左右, 调节中和料液的密度 1.7 g/cm^3 , 复测合格后将中和料浆过滤备用。将过滤后的中和料浆输送到熔聚炉中, 熔聚温度控制在 $640 \sim 680 \text{ }^\circ\text{C}$, 停留时间控制在30 min左右, 生料和熟料质量比控制在1:2。将熔聚的半成品通过骤冷机冷却, 骤冷机转速控制在40 r/min, 时间控制在10 min左右, 冷却至 $50 \text{ }^\circ\text{C}$, 生成透明玻璃状六偏磷酸钠。通过后续的破碎、筛分处理得到六偏磷酸钠产品。熔聚温度对六偏磷酸钠产品指标的影响见表3。

由表3可知,在保持其他条件不变的前提下,将熔聚最高温度控制在700℃以下,可避免产生三偏磷酸钠、四偏磷酸钠以及减少非活性磷酸盐成分。同时考虑熔聚炉承温,以及熔聚炉在高温条件下,炉内碳化硅砖被腐蚀,导致黑色有害杂质进入产品中。因此,选择熔聚温度640~680℃,此时制备的六偏磷酸钠总磷酸盐、非活性磷酸盐、pH值等指标均符合要求。

表3 熔聚温度对六偏磷酸钠指标的影响

Table 3 Effect of fusion temperature on indexes of sodium hexametaphosphate

序号	熔聚温度/℃	$m(\text{生料}):m(\text{熟料})$	$w(\text{总磷酸盐})/\%$	$w(\text{非活性磷酸盐})/\%$	pH值
1	550	1:2	67.2	7.2	5.8
2	580	1:2	67.4	7.1	5.6
3	610	1:2	67.5	6.8	5.5
4	640	1:2	67.8	6.7	5.4
5	670	1:2	68.1	6.6	5.4
6	700	1:2	68.4	6.5	5.3
7	730	1:2	68.8	6.8	5.2
8	760	1:2	67.5	7.0	5.2

2.6 生熟料比例对六偏磷酸钠指标的影响

以生熟料比例为变量。采用湿法磷酸和液碱反应至料浆为黏稠状,控制料浆的pH值稳定至4.0左右,调节中和料液的密度1.7 g/cm³,复测合格后将中和料浆过滤备用。将过滤后的中和料浆输送到熔聚炉中,熔聚温度控制在660℃,停留时间控制在30 min左右;生料和熟料质量比控制在1:(1~4)。将熔聚的半成品通过骤冷机冷却,骤冷机转速控制在40 r/min,时间控制在10 min左右,冷却至50℃,生成透明玻璃状六偏磷酸钠。通过后续的破碎、筛分处理得到六偏磷酸钠产品。生熟料比例对六偏磷酸钠指标的影响见表4。

表4 生熟料比例对六偏磷酸钠指标的影响

Table 4 Effect of raw clinker ratio on indexes of sodium hexametaphosphate

序号	$m(\text{生料}):m(\text{熟料})$	$w(\text{总磷酸盐})/\%$	$w(\text{非活性磷酸盐})/\%$	pH值
1	1:1	67.9	6.7	5.4
2	1:2	68.1	6.7	5.4
3	1:3	68.4	6.6	5.3
4	1:4	68.6	6.5	5.2

由表4可知,在保持其他条件不变的前提下,当 $m(\text{生料}):m(\text{熟料})=1:4$ 时,制备六偏磷酸钠

的总磷酸盐、非活性磷酸盐、pH值等指标均符合要求,但当熔聚炉内全部是熟料时,也会给生产带来较大的安全风险,同时影响反应进程和产品质量。当熔聚炉内 $m(\text{生料}):m(\text{熟料})$ 值为1:1时,产品中总磷酸盐、非活性磷酸盐、pH值等指标均符合要求,但反应进程未达到理想状态。

总之,熔聚炉内部保证一定量的熟料,既可以对生料进行加热,缩短反应时间,还可以实现六偏磷酸钠的连续反应。因此在确保安全的前提下,尽量将生熟料比例控制在1:(2~3)。

2.7 熔聚炉停留时间对六偏磷酸钠指标的影响

以物料在熔聚炉内停留时间为变量。采用湿法磷酸和液碱反应至料浆为黏稠状,控制料浆的pH稳定至4.0左右,调节中和料液的密度为1.7 g/cm³,复测合格后将中和料浆过滤备用。将过滤后的中和料浆输送到熔聚炉中,熔聚温度控制在660℃,停留时间控制在10~30 min;生料和熟料质量比控制在1:2。将熔聚的半成品通过骤冷机冷却,骤冷机转速控制在40 r/min,时间控制在10 min,冷却至50℃,生成透明玻璃状六偏磷酸钠。通过后续的破碎、筛分处理得到合格的低pH值六偏磷酸钠产品。停留时间对六偏磷酸钠产品指标的影响见表5。

表5 停留时间对六偏磷酸钠产品指标的影响

Table 5 Effect of residence time on indexes of sodium hexametaphosphate

序号	停留时间/min	$w(\text{总磷酸盐})/\%$	$w(\text{非活性磷酸盐})/\%$	溶解性	pH值
1	10	67.1	7.0	较好	5.5
2	15	67.5	6.9	较好	5.5
3	20	67.8	6.7	较好	5.4
4	25	67.9	6.6	较好	5.3
5	30	68.0	6.5	较好	5.3
6	35	68.2	6.5	降低	5.2

由表5可知,其他参数不变时,物料在熔聚炉内停留时间越短,物料聚合不完全,导致六偏磷酸钠总磷酸盐含量偏低,产品pH值较高。相反,物料在熔聚炉内停留时间增加时,有利于六偏磷酸钠产品发生熔聚反应,产品的总磷酸盐、pH值、溶解性、非活性磷酸盐等指标较好,但停留时间过长,超过30 min后,会导致六偏磷酸钠平均聚合度增加,产品的水溶性下降。因此,一般将停留时间控制在25~30 min,六偏磷酸钠产品各项指标合格。

2.8 骤冷机转速对六偏磷酸钠指标的影响

采用湿法磷酸和纯碱反应至料浆为黏稠状,控

制料浆的pH稳定至4.0左右,调节中和料浆的密度为1.7 g/cm³,复测合格后将中和料浆过滤备用。将过滤后的中和料浆输送到熔聚炉中,熔聚温度控制在680 ℃,停留时间控制在25 min左右;生料和熟料质量比控制在1:2。将熔聚的半成品通过骤冷机冷却,冷却水25 ℃,骤冷机转速控制在20~40 r/min,时间控制在10 min左右,冷却至50 ℃,生成透明玻璃状六偏磷酸钠。通过后续的破碎、筛分处理得到六偏磷酸钠产品。骤冷机转速对六偏磷酸钠产品指标的影响见表6。

表6 骤冷机转速对六偏磷酸钠产品指标的影响

Table 6 The influence of the speed of the rapid cooling machine on the indexes of sodium hexametaphosphate

序号	骤冷机转速/ (r·min ⁻¹)	w(总磷酸盐)/%	w(非活性 磷酸盐)/%	溶解性	pH值
1	20	67.1	7.0	较好	5.5
2	26	67.5	6.9	较好	5.5
3	32	67.8	6.7	较好	5.4
4	38	67.9	6.6	较好	5.5
5	40	68.0	6.5	较好	5.4
6	44	68.2	6.5	较好	5.5

由表6可知,其他参数不变时,随着骤冷机转速增加,六偏磷酸钠产品的各项理化指标变化不大,可见骤冷机的转速对六偏磷酸钠指标的影响不大。但是为了减少六偏磷酸钠产品包装袋“起包”,应提高骤冷机转速,降低六偏磷酸钠产品温度。

3 结论

通过上述系列实验,在普通六偏磷酸钠生产线上,重点考察原材料种类、反应促进剂、催化剂用量、中和料浆pH值、熔聚温度、生熟料比例、停留时间、骤冷机转速等条件对六偏磷酸钠产品pH的影响,得出以w(H₃PO₄)85%的湿法磷酸、w(Na₂CO₃)99%的纯碱为原料,在中和料浆pH值为3.9~4.1、催化剂为硝酸铝钾水合物、熔聚温度为640~680 ℃、m(生料):m(熟料)为1:(2~3)、加入1%反应促进剂的条件下成功制备出一种低pH值的食品级六

偏磷酸钠,满足高端客户质量需求。

该方法制备的低pH值六偏磷酸钠产品均匀稳定,总磷酸盐含量、非活性磷酸盐含量等指标较好,该套工艺技术成熟、设备适应性强,可实现工业化生产,具有较好的市场前景。

[参考文献]

- [1] 陈华东,曾波,戴元华,等.六偏磷酸钠的应用及制备技术[J].无机盐工业,2010,42(2):9-11.
CHEN H D, ZENG B, DAI Y H, et al. Application and production technologies of sodium hexametaphosphate[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2010, 42(2): 9-11.
- [2] 贡长生,梅毅,何浩明,等.现代磷化工技术和应用[M].北京:化学工业出版社,2013.
- [3] 韩海波.甲酸与六偏磷酸钠生产市场状况及联产新工艺[J].贵州化工,2001,26(1):5-9.
HAN H B. Market Analysis and Joint-Production Technology of Formic Acid and Sodium Hexametaphosphate [J]. Guizhou Chemical Industry, 2001, 26 (1): 5-9.
- [4] 刘秀明.六偏磷酸钠的生产工艺[J].云南化工,1994(3):30-33.
LIU X M. The industrial process of sodium hexametaphosphate [J]. Yunnan Chemical Technology, 1994 (3): 30-33.
- [5] 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.
LIU J L, ZENG B. Research on Refining of Phosphoric Acid by dihydrate—process Used in of Sodium Tripolyphosphate preparation [J]. Guizhou Chemical Industry, 2007, 32(5): 19-21.
- [6] 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.
- [7] 杨承信.三聚磷酸钠生产[M].北京:轻工业出版社,1988:234-235.
- [8] 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):46-48.
WANG Y L. Measures to improve the quality of sodium tripolyphosphate produced by wet process phosphoric acid [J]. Sulphur Phosphorus & Bulk Materials Handling Related Engineering, 2000(2): 46-48.
- [9] 周骏宏,周开勇.用湿法磷酸生产三聚磷酸钠的中和度分析方法探析[J].硫磷设计与粉体工程,2007(5):29-31.
ZHOU J H, ZHOU K Y. Study on the method for analysis of neutrality for the production of sodium tripolyphosphate with wet-process phosphoric acid [J]. Sulphur Phosphorus & Bulk Materials Handling Related Engineering, 2007(5): 29-31.