

# 磷酸铁生产废水预处理高效沉淀池出水浊度高的原因及改进措施

张忠朝

(云南云聚能新材料有限公司, 云南 安宁 650300)

**[摘要]** 云南云聚能新材料有限公司 100 kt/a 磷酸铁装置采用铵法工艺生产, 产生大量母液和洗水, 加入氨水调节 pH 后, 再通过高效沉淀池沉降除去磷酸铁悬浮物及铁、镁、钙、锰等金属离子, 高效沉淀池溢流液出水浊度大于 10 NTU, 严重影响后续处理, 系统负荷低。从预处理反应池 pH 控制、高效沉淀池结构设计、水处理药剂选型、药剂剂量与进水量匹配、絮凝池搅拌强度等方面分析高效沉淀池沉降效果差的原因, 并从设备、工艺技术和工艺管控方面进行改进。技改实施后, 铵法磷酸铁生产废水预处理高效沉淀池母液、洗水处理量可达到设计能力; 高效沉淀池出水浊度可有效控制在 5 NTU 以下, 提高了系统运行负荷。

**[关键词]** 磷酸铁; 废水; 高效沉淀池; 溢流液浊度; 原因; 对策

**[中图分类号]** X703

**[文献标志码]** B

**[文章编号]** 2097-4566 (2025) 03-0094-05

## Reasons and improvement measures for high turbidity of overflow water from high-efficiency sedimentation tank for pretreatment of wastewater from iron phosphate production

ZHANG Zhongchao

(Yunnan Yunjuneng New Material Co., Ltd., Anning 650300, China)

**Abstract:** The 100 kt/a iron phosphate plant of Yunnan Yunjuneng New Material Co., Ltd. adopts the ammonium process, which generates a large amount of mother liquor and washing water. After adjusting the pH by adding ammonia water, the iron phosphate suspension and metal ions such as iron, magnesium, calcium and manganese are removed by sedimentation in a high-efficiency sedimentation tank. The turbidity of the overflow water from the high-efficiency sedimentation tank is greater than 10 NTU, which seriously affects the subsequent treatment and the system has a low load. The reasons for the poor sedimentation effect of high-efficiency sedimentation tank are analyzed from the aspects of pH control of pretreatment reaction tanks, design of high-efficiency sedimentation tank, selection of water treatment agents, matching of agent dosage and inlet water quantity, and mixing intensity of flocculation tank. Technological transformation is carried out, such as improving equipment, process technology and process control. After the implementation of technological transformation, the pretreatment capacity of wastewater in the high-efficiency sedimentation tank can reach the design capacity; The turbidity of the overflow water from the high-efficiency sedimentation tank can be effectively controlled below 5 NTU, increasing the operating load of the system.

**Key words:** iron phosphate; wastewater; high-efficiency sedimentation tank; turbidity of overflow water; reasons; countermeasures

近年来, 磷酸铁作为新能源电池正极材料前驱体备受关注。在铵法生产磷酸铁过程中, 生产磷酸铁产品 1 t, 副产母液 12~15 t, 产生洗水 35~45 t。云南云聚能新材料有限公司(简称公司)现有 10 万 t/a 电池前驱体磷酸铁生产装置, 其产生的工业废水使用高效沉淀池进行预处理<sup>[1]</sup>。该预处理工艺是向工业废水中添加水处理药剂, 经过反应、沉

淀, 去除工业废水中的固相物和重金属离子等<sup>[2]</sup>。其是在传统的斜管式混凝沉淀池的基础上增加污泥回流装置, 实现多功能处理与优化的一种工艺, 主

**[收稿日期]** 2023-10-13; **[修回日期]** 2024-10-20

**[作者简介]** 张忠朝(1987-), 男, 云南宣威人, 高级工程师, 从事电池前驱体磷酸铁、工业废水处理、硫酸铵、硫磷铵复合肥生产管理

要包括5个阶段，即pH调节反应、高效混合凝聚、产生絮体、沉淀分离和污泥浓缩<sup>[3-4]</sup>。

公司磷酸铁生产副产母液与洗水的pH较低，为强酸性，在除硬度过程中需要尽量除去铁、锰离子，同时避免引入杂质离子影响副产盐纯度<sup>[5]</sup>。预处理高效沉淀池除硬度、除重金属离子使用 $w(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$  20%~25%的氨水调节pH。在pH调节过程中，化合物的溶度积越低越不易溶解，利于生长或聚合成大颗粒，越易沉降；重金属离子价态越高越易形成沉淀。

液固分离后，装置定期定量排出污泥，经高压压滤机过滤，泥饼干化处置。

但在生产工艺控制过程中，因工艺管控不到位、高效沉淀池pH指标波动、药剂加入量与处理水量不匹配、高效沉淀池设计存在缺陷、搅拌强度控制不合理等原因导致高效沉淀池出水浊度大于10 NTU，严重影响后续超滤膜、反渗透膜运行，系统负荷低<sup>[6]</sup>。

笔者就高效沉淀池出水浊度高进行原因分析，

并从高效沉淀池pH调节控制、药剂选型、药剂与处理水量匹配加入量、搅拌强度、高效沉淀池设计和工艺操作控制等方面提出改进措施。

### 1 铵法磷酸铁生产废水预处理高效沉淀池出水浊度高的原因分析

铵法生产磷酸铁过程中产生的废水pH较低，预处理时加入氨水调节pH，产生氢氧化物沉淀，液固分离除重金属和除硬度。高效沉淀池出水浊度高的影响因素包括铵法磷酸铁废水来水水质（固体悬浮物）、预处理反应池pH、药剂混凝剂和絮凝剂选型、药剂剂量、高效沉淀池设计结构和絮凝搅拌强度等。

#### 1.1 磷酸铁生产装置废水水质差

磷酸铁生产装置母液、洗水分析检验数据见表1。由表1可以看出，磷酸铁生产过程产生的母液和洗水中 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 和固体悬浮物含量较高。 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 可通过调节pH生成氢氧化物沉淀。

表1 磷酸铁生产装置母液、洗水指标

Table 1 Mother liquor and washing water of iron phosphate plants

项目	pH	$\rho(\text{TDS})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{SO}_4^{2-})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NH}_4^+)/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Ti})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Ca}^{2+})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Mg}^{2+})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Al})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Mn})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
母液	0.8~1.5	66 000~70 000	60 000~65 000	10 000~12 000	500	100	50	800	30	250
洗水	1.5~2.0	10 000~15 000	8 000~10 000	2 500~3 000	30~50	5	5	60	5	30
项目		$\rho(\text{Zn})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Cu})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Ni})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Co})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Cd})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Cr})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Na})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{K})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{固})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
母液	10	5	10	20	20	5	20	30	100	
洗水	5	1	2	5	10	2	5	20	50	

固体悬浮物含量高主要是由于磷酸铁生产过程中压滤机滤布穿滤和物料跑冒滴漏进入水系统，其中磷酸铁产品粒度 $\leq 90 \mu\text{m}$ ，细小颗粒的磷酸铁产品被带入工业废水中，增加高效沉淀池固体沉降分离难度。

#### 1.2 预处理反应池pH不合理

预处理反应中不同pH条件下出水浊度及金属离子指标见表2。

基于表2数据可知，在 $\text{pH} > 5.0$ 时，几乎所有的铁离子会和水中的氢氧根离子结合，形成氢氧化铁沉淀；在 $\text{pH} > 8.0$ 时，绝大部分的锰离子会和水中的磷酸根离子结合，形成磷酸锰沉淀；在 $\text{pH} \geq 8.5$ 时，镁离子会和水中的磷酸根离子、铵根离子结合，形成磷酸铵镁，但用氨水调节pH，过高的氨水加入量易造成气氨逃逸，造成环境污染和安全隐患。

改造前预处理高效沉淀池pH过低，金属离子

表2 不同pH条件下出水浊度、金属离子指标

Table 2 Turbidity and metal ions content in overflow water under different pH conditions

pH	浊度/NTU	$\rho(\text{Fe}^{3+})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Mn}^{2+})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Mg}^{2+})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
4.0	20.16	85.50	78.17	35.57
5.0	14.52	80.35	60.78	33.33
6.0	12.28	10.17	53.46	32.45
7.0	9.67	8.86	43.56	29.66
8.0	5.45	7.75	35.55	20.33
8.5	3.35	3.44	16.32	15.74
9.5	4.50	5.50	15.00	13.60

与氢氧根形成氢氧化物不充分，在后期回调pH至6.0~7.0时，产水浊度再次升高。

#### 1.3 高效沉淀池设计缺陷

絮凝池至高效沉淀池设计见图1。高效沉淀池设计缺陷主要表现在：絮凝池至高密池之间的高效沉淀池进水渠存在死区，进水走短路，大量水进入

高效沉淀池 1-1，而少量水进入高效沉淀池 1-2，且高效沉淀池 1-2 处的进水渠因流量较小，导致氢氧化物沉淀堆积，堵塞水流通道的，进一步降低絮凝池至高效沉淀池 1-2 的进水量，进而影响沉降效果。

基于以上高效沉淀池设计可知，絮凝池到高效沉淀池进水渠存在进水分布不均的缺陷，影响沉降效果，导致出水浊度高<sup>[7-8]</sup>。

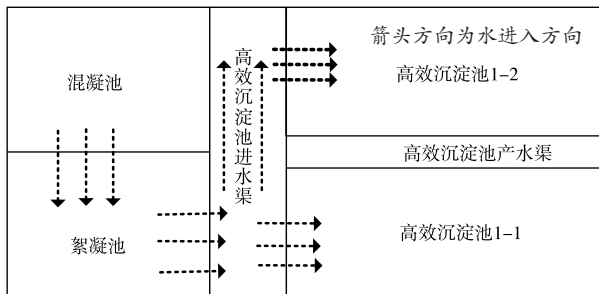


图1 絮凝池至高效沉淀池设计

Fig. 1 Design of flocculation tank to high-efficiency sedimentation tank

#### 1.4 药剂选型的原因

混凝和絮凝药剂中 $\rho(\text{Cl}^-)$ 在 2 000 mg/L 以上，在酸性条件和高温条件下，对 SS304 材质等不锈钢具有腐蚀性，且混凝剂药剂用量较大，药剂成本消耗大。同时，为保证高效沉淀池出水浊度低于指标，连续排泥，污泥固含量较低，板框压滤机负荷高。

#### 1.5 药剂与进水量匹配度差

磷酸铁生产废水中含有较多微细颗粒，微细颗粒悬浮于液面，导致中水装置高密池沉降效果差，只有添加药剂、絮凝剂才能改善混凝效果，但混凝、絮凝药剂加入量与进水量匹配度差，严重制约了高效沉淀池水处理能力，生产负荷低于 80%。

#### 1.6 絮凝池搅拌强度控制不合理

在磷酸铁生产废水处理过程中，絮凝池搅拌器的转速对药剂和水的混合反应效果有直接影响，转速不足时混合不够充分，絮体架桥不好，不能将水中的悬浮物和胶体物质充分聚合为絮体，影响出水浊度；转速过高则会将已形成的大颗粒絮体打散成小絮体，不利于澄清区的分离沉降，同样会造成出水浊度过高<sup>[9]</sup>。

#### 1.7 污泥回流量和污泥排放量偏离指标

正常情况下，在高效沉淀池进水渠 1.2 m 下取液，并至量桶中进行液固沉降（5~10 min）， $w(\text{固})$ 控制在 3%~15%。污泥沉降比（SV）控制在 10%~30% 范围内，但因污泥循环量忽大忽小，频繁调整

水处理量、污泥排放堵塞未及时排泥和沉降效果差等导致工艺操作中污泥回流量和污泥排放量偏离指标，高效沉淀池出水浊度高。

## 2 降低铵法磷酸铁废水预处理高效沉淀池出水浊度高的对策

### 2.1 降低磷酸铁生产废水中固体悬浮物含量

降低磷酸铁生产废水中固体悬浮物含量主要通过改变磷酸铁主装置滤布选型、滤布过滤精度实现。选用精度 $\leq 5\mu\text{m}$ 滤布，滤布更换周期由有效运行时间 50~60 d，更改为 30~40 d。同时，发现滤布少部分通漏及时更换，当滤布通漏率大于 15%，对整台压滤机滤布进行更换，降低磷酸铁产品微小颗粒穿滤量，使磷酸铁生产废水中 $\rho(\text{固}) < 100 \text{ mg/L}$ 。

### 2.2 反应池 pH 控制要求

反应池通过 pH 计控制氨水加药泵的变频调节加药量，将反应池的 pH 控制在 7.8 以上，避免形成氢氧化铝络合物。在此 pH 条件下，同步形成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 等沉淀。因此采用氨水进行 pH 调节，将废水的 pH 调至 8.0~9.5，同时加入极少量的混凝剂、絮凝剂，废水中绝大部分的 $\text{Fe}^{3+}$ 和 $\text{Mn}^{2+}$ 将会转变成氢氧化铁和磷酸锰沉淀。

### 2.3 高效沉淀池设计缺陷的工艺技改

对絮凝池到沉淀池溢流进水渠水隔墙进行土建找平，解决水平度不平衡，进水走短路问题。从公司装置空气贮罐出口增加 DN65 管线，直达高效沉淀池进水渠，装置空气压力保证在 0.6~0.7 MPa，流速 15~20 m/s。通过曝气的方式，间断开启，降低氢氧化物沉淀堆积堵塞水流通道的风险，保证絮凝池进入沉淀池水量分布相对均匀。

### 2.4 药剂选型

#### 2.4.1 混凝剂选型

常用的混凝剂种类很多，工业上常用的一般为无机盐类混凝剂和无机高分子混凝剂。无机盐类混凝剂主要有三氯化铁和硫酸亚铁；无机高分子混凝剂主要有聚合氯化铝（PAC）、聚合硫酸铁（PFS）和聚合硫酸铝（PAS）。值得注意的是，混凝剂在水中的混凝作用受 pH、剂量、水温及水质等诸多因素的影响，合适的混凝剂及投加剂量需要结合小试实验加以确定。由于磷酸铁生产废水中有大量铁盐，故混凝剂选择铝盐效果较铁盐效果好。同时，考虑氯化盐将会带入氯离子，腐蚀设备，混凝剂采用硫酸铝盐。通过烧杯实验对比验证相同加入条件下，磷酸铁生产废水调节 pH 后，加入不同铁盐和

铝盐混凝剂时絮体产生的情况。结果表明，混凝剂选择铝盐混凝效果最佳，氢氧化物特征粒径在90 μm以上占比≥75%（若氢氧化物粒径较小将延长固体颗粒沉降时间）。

### 2.4.2 絮凝剂选型

常用絮凝剂一般为有机高分子物质，通过高分子物质的吸附架桥作用，将小颗粒絮体聚成易沉降的大颗粒矾花。水处理系统常用的絮凝剂为聚丙烯酰胺（PAM）。聚丙烯酰胺又分为阳离子型、阴离子型、非离子型及双离子型，若超滤系统产水作为后续反渗透系统的供水，建议使用阴离子型聚丙烯酰胺作为絮凝剂。由于磷酸铁生产废水中有大量重金属离子，故絮凝剂选择阴离子型聚丙烯酰胺，利于离子间电负荷架桥形成最佳絮体矾花。

通过量筒实验对比验证相同条件下，磷酸铁生产废水调节pH后，加入不同絮凝剂絮体的沉降速率。实验絮凝剂加入量为0.5 mg/L，加药质量分数为0.03%，结果见表3。

表3 不同类型絮凝剂下母液中絮体沉降情况

Table 3 Settlement of flocs in mother liquor under different types of flocculants

沉降 时间/min	阴离子型 聚丙烯酰胺絮凝剂		阳离子型 聚丙烯酰胺絮凝剂	
	上层清液/ mL	沉降速率/ (mL·s <sup>-1</sup> )	上层清液/ mL	沉降速率/ (mL·s <sup>-1</sup> )
	0	1 000		1 000
1	250	4.160	200	3.33
2	380	3.160	230	1.92
5	500	1.660	350	1.16
10	550	0.916	400	0.66

由表3可知：絮凝剂选择阴离子型聚丙烯酰胺效果最佳，同样时间内，沉降较快，上层清液量大。

PAM投加过量易吸附在超滤膜外表面，造成超滤系统产水量快速下降，跨膜压差迅速升高，且不易清洗干净。因此必须采取有效措施，监控混凝剂和絮凝剂的准确投加量。

## 2.5 药剂使用的工艺技改

### 2.5.1 药剂加入方式和计量工艺技改

通过对混凝、絮凝剂添加机泵，各用药点管线，管线篮式过滤器和流量控制进行技改，提高洗水、母液高密池沉降效果，保证装置安全稳定连续运行。

### 2.5.2 药剂量与进水量的匹配

通过大量烧杯实验获得相关数据，依据模拟实验的数据类比扩大后，获得高效沉淀池在不同进水量情况下的最佳混凝、絮凝药剂加入量，确保高效沉淀池水处理形成理想絮体。在进水量为280 m<sup>3</sup>/h时，不同药剂加入量下高效沉淀池出水浊度见表4。

表4 不同药剂加入量下高效沉淀池出水浊度

Table 4 Turbidity of overflow water from high-efficiency sedimentation tank under different dosages of reagents

序号	混凝剂加入量/(mg·L <sup>-1</sup> )	絮凝剂加入量/(mg·L <sup>-1</sup> )	出水浊度/NTU
1	5	0.2	12.68
2	8	0.2	9.61
3	10	0.2	7.76
4	12	0.2	6.67
5	15	0.2	5.09
6	5	0.3	11.52
7	8	0.3	8.04
8	10	0.3	7.48
9	12	0.3	8.83
10	15	0.3	4.74
11	5	0.5	9.95
12	8	0.5	7.74
13	10	0.5	5.65
14	12	0.5	3.06
15	15	0.5	1.71

由表4数据可知，混凝剂加药量为15 mg/L、絮凝剂加药量为0.3~0.5 mg/L时，高效沉淀池出水水质较清澈，浊度满足工艺指标控制要求。

### 2.5.3 混凝剂、絮凝剂药剂流量与高密池实际进水量匹配设置

药剂流量偏离设计值，影响洗水、母液混凝效果。对药剂偏低、偏高进行工艺报警设置，低报为理论计算值的0.8倍；高报为理论计算值的1.2倍。高密池各加药点流量控制在上述值的±20%以内，当单个实际药剂流量与理论计算值偏差较大时，报警提示，通过各流量计前的阀门调节药剂与高密池进水量的匹配度。

## 2.6 改变高效沉淀池污泥回流和污泥排放工艺操作方式

在高效沉淀池进水渠取液，液固沉降， $w$ （固）3%~15%为正常。

在高效沉淀池进水渠取液，液固沉降， $w$ （固）≤3%，则判断污泥回流量小，可提高污泥回流泵频率，增加污泥回流量。

在高效沉淀池进水渠取液，液固沉降， $w$ （固）≥

15%，则判断污泥回流量大，需降低污泥回流泵频率，减小污泥回流量，同时增加污泥排放量。

### 2.7 絮凝池搅拌浆转速控制

不同絮凝池搅拌转速下高效沉淀池出水情况见表5。

由表5可知，搅拌器转速较快，搅动太强，会影响絮体的形成，大量小絮体来不及形成大颗粒矾花就被带到澄清区，造成水浑浊。当搅拌浆转速较低时絮体形成缓慢，导致出水水质波动。絮凝池搅拌浆电机输出频率控制在25~35 Hz，根据

表5 不同絮凝池搅拌转速下高效沉淀池出水情况

Table 5 Blowing conditions of high-efficiency sedimentation tank at different stirring speed of flocculation tank

序号	废水种类	单池负荷/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	电机输出频率/Hz	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	絮凝区沉降比	絮凝区反应情况	澄清区出水情况
1	洗水	300	45	38.7	6	絮体细小	出水浑浊,细小颗粒
2	母液	100	40	34.4	7	絮体细小	出水浑浊,细小颗粒
3	洗水	300	35	30.1	7	絮体大	出水清澈
4	母液	100	30	25.8	9	絮体大	出水清澈
5	洗水	300	30	25.8	9	絮体大	出水清澈
6	母液	100	25	21.5	10	絮体大	出水清澈
7	洗水	300	25	21.5	11	絮体大,絮体分层	出水水质不稳
8	母液	100	20	17.2	13	絮体大,絮体分层	出水水质不稳
9	洗水	300	18	15.5	15	絮体大,絮体分层明显	出水水质不稳
10	母液	100	15	12.9	14	絮体大,絮体分层明显	出水水质不稳

污泥回流量大小调整。

### 3 改造实施效果

工艺技改实施后，铵法磷酸铁生产废水预处理高效沉淀池单系列母液、洗水处理量可达到设计能力。母液预处理高效沉淀池能力到达设计的98.04%，洗水预处理高效沉淀池能力达到设计的105.13%；高密池出水悬浮物减少，高效沉淀池出水浊度可有效控制在5 NTU以下。

#### [参考文献]

[1] 王君婷,马航,查坐统,等.磷酸铁工业废水处理工艺研究进展[J].无机盐工业,2024,56(6):26-33.  
WANG J T, MA H, ZHA Z T, et al. Research progress of iron phosphate industrial wastewater treatment process [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2024, 56(6): 26-33.

[2] 陆进.高效沉淀池的技术研究与应用[J].中国资源综合利用, 2017, 35(10): 23-24, 28.  
LU J. Research and Application of High Efficiency Sedimentation Tank [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2017, 35(10): 23-24, 28.

[3] 王亚红.高效沉淀池技术浅析[C]//《中国给水排水》杂志社第十一届年会暨水处理热点技术高峰论坛论文集.西安:[出版者不

详], 2014: 47-50.

[4] 曹金亮.高效沉淀池设计探讨[J].城市道桥与防洪, 2012(6): 187-188.  
CAO J L. Discussion on Design of High-efficient Settling Tank [J]. Urban Roads Bridges and Flood Control, 2012(6): 187-188.

[5] 郑信,刘成,吴天,等.磷酸铁生产废水零排放处理技术研究与应用[J].工业安全与环保, 2023, 49(S1): 83-85.  
ZHENG J, LIU C, WU T, et al. Research and application of zero discharge treatment technology for ferric phosphate production wastewater [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2023, 49(S1): 83-85.

[6] 隋岩峰,刘松林,杨帆.反渗透膜处理磷肥废水的实验研究[J].应用化工, 2019, 48(4): 823-826.  
SUI Y F, LIU S L, YANG F. Experimental study on the treatment of phosphate fertilizer wastewater by reverse osmosis membrane [J]. Applied Chemical Industry, 2019, 48(4): 823-826.

[7] 石瑾,孔令勇,王鲲鹏,等.高密度澄清池(DENSADEG®)的基本原理及其在净水厂中的应用[J].净水技术, 2007, 26(6): 58-61.  
SHI J, KONG L Y, WANG K M, et al. Mechanism of DENSADEG® High-Density Clarifier and Its Application in Water Purification Plant [J]. Water Purification Technology, 2007, 26(6): 58-61.

[8] 谢钦.高密度澄清池工艺简介[J].给水排水, 2006(S1): 38-39.

[9] 李晗.高密度沉淀池絮凝搅拌器对絮凝效果的影响[J].化学工程与装备, 2015(12): 268-273.