

新型中置式高密度沉淀池的开发与应用

许嘉炯 郑毓佩 沈裘昌 雷挺 陈宝书 芮

(上海市市政工程设计研究总院, 上海 200092)

摘要 新型中置式高密度沉淀池为上海市市政工程设计研究总院自主开发的拥有自主知识产权的新池型。对该池型的开发思路和技术方案作了较为详细的分析,并对其在嘉兴石臼漾水厂中的应用情况进行介绍。中置式高密度沉淀池将混合和絮凝区集中设置在池体中央,通过多种混凝和氧化药剂的投加、均匀度达95%以上的高速混合和8~10倍的提升絮凝搅拌,在上升流速15.6 m/h的条件下,确保出水浊度达到0.6~1 NTU,且排泥含固率达3%以上的效果。

关键词 常规处理 中置式高密度沉淀池 混合 搅拌 污泥回流

1 总体思路

目前国内给水常规处理工艺大多采用传统的沉淀(澄清)过滤和消毒形式,变化少,特点不明显,且工艺设备的针对性不强。其中沉淀部分一般采用传统的平流沉淀池、斜管沉淀池、机械搅拌澄清池。

平流沉淀池是目前我国大中型给水厂使用最广泛的池型,具有构造简单、管理方便、耐冲击负荷强等优点。通过合理加药和絮凝,平流沉淀池的出水浊度基本可控制在1~3 NTU。平流沉淀池的缺点是停留时间长,占地面积大,此外,平流沉淀池对一些小而轻的矾花的去除效果差,进一步提高出水水质代价很高。一般平流沉淀池的浊度控制在3 NTU以下,要想进一步提高平流沉淀池对浊度和

有机物的去除率,必须耗费更多甚至数倍的混凝剂,增加制水成本。平流沉淀池由于面积大而加盖造价高、实施困难,因此水体暴露面积大,受阳光照射容易生长青苔,为了保持水厂的整洁,一般采用预加氯的方式防止青苔滋生,但同时也阻碍了有益微生物的生存,使常规处理过程中原本可以消化一部分氨氮和耗氧量的生态环境遭到破坏。

斜管沉淀池由于在池体较大情况下存在配水不均匀问题,使其总体出水水质难以进一步提高,也限制了传统斜管沉淀池大型化的发展。

机械搅拌澄清池的优点是:絮凝、澄清一体化、产水能力高,处理效果好,适应能力强,抗冲击负荷大。尤其在分离区增设斜管,出水水质和产水量更

社,2001

- 5 USEPA. Removal of endocrine disruptor chemicals during drinking water treatment. EPA/625/00015, 2001
- 6 Choi K J, Kim S G, Kim C W, et al. Effects of activated carbon types and service life on removal of endocrine disrupting chemicals: amitrol, nonylphenol, and bisphenol-A. Chemosphere, 2005, 58(11):1535~1545
- 7 Yoon Y, Westerhoff P, Snyder A S, et al. HPLC-fluorescence detection and adsorption of bisphenol A, 17 β -estradiol, and 17 α -ethynyl estradiol on powdered activated carbon. Water Research, 2003, 37(14):3530~3537
- 8 Yang R T. Gas Separation by Adsorption Processes. Butterworths. London, 1987
- 9 Yang X, Al-Duri B. Kinetic modeling of liquid-phase adsorption of reactive dyes on activated carbon. Journal of Colloid and Interface Science, 2005, 287(1):25~34

- 10 Chang C Y, Ing C H, Chang C F, et al. Adsorption of Polyethylene Glycol (PEG) from Aqueous Solution onto Hydrophobic Zeolite. Journal of Colloid and Interface Science. 2003, 260(2):273~279
- 11 Cheremisinoff P N, Ellerbuch F. Carbon Adsorption Handbook. USA, 1978:244~245
- 12 Wan Ngah W S, Kamari A, Koay Y J. Equilibrium and kinetics studies of adsorption of copper(II) on chitosan and chitosan/PVA beads. International Journal of Biological Macromolecules, 2004, 34(3):155~161

○电话:(021)65970535

E-mail:lry1982_50@126.com

收稿日期:2005-09-13

修回日期:2006-12-07

可进一步提高。它的缺点是结构比较复杂,施工难度较大;由于回流泥渣浓度较低,回流量很大,最大的困难是排泥量很难控制,经常会因过量排泥,导致絮凝效果差,影响出水水质。

高密度沉淀池(Densadeg)是近年来从法国得利满公司引进的新池型,同机械搅拌澄清池相比,高密度沉淀池有以下几方面的优点:

(1) 将混合区、絮凝区与沉淀池分离,采用矩形结构,简化池型。

(2) 沉淀分离区下部设污泥浓缩区,占用土地少。

(3) 在浓缩区与混合部分之间设污泥外部循环。部分浓缩污泥由泵回流到机械混合池,与原水、混凝剂充分混合,通过机械絮凝形成高浓度混合絮凝体,然后进入沉淀区分离。

(4) 采用有机高分子絮凝剂,絮凝过程中投加PAM助凝剂,以提高矾花凝聚效果,加快泥水分离速度。

(5) 沉淀部分设置斜管,进一步提高表面负荷。

(6) 沉淀区下部按浓缩池设计,大大提高污泥浓缩效果,含固率可达3%以上。

经上述改进后,高密度沉淀池在水质适应性和抗冲击性上比机械搅拌澄清池更强。而且在理论上出水水质会更好。根据半生产性试验,它的上升流速可达 6 mm/s ,超过了斜管沉淀池和机械加速澄清池,使占地更小。高密度沉淀池的缺点是布置比较分散,絮凝与沉淀之间虽然增设了导流墙,但还存在配水不均匀的现象,尤其在大型水厂中,会直接影响出水水质。另外,高密度沉淀池因是专利产品,设备、材料价格较贵,投资很高。

为发明一种经济、高效且适应性强的新型沉淀池,通过分析上述池型的优缺点,认为需要对一些关键技术点加以优化,这些技术点包括:

- (1) 混凝剂、助凝剂的投加和加注点。
- (2) 混合和絮凝方式。
- (3) 污泥(泥渣)层的存在、泥渣与原水的配比和污泥循环、回用。
- (4) 絮凝区以及它与沉淀区的有机结合。
- (5) 进出沉淀区的水力条件和布置。
- (6) 沉淀区的水力条件和沉降面积。
- (7) 池内污泥浓缩和储存。

(8) 剩余污泥的排除。

新型中置式高密度沉淀池(专利申请号:200510024179.5和200510024180.8)则是我院结合了机械搅拌澄清池和高密度沉淀池的优点并针对上述8个技术点进行优化后开发出的新池型。中置式高密度沉淀池设有5个过程区,即:I混合区;II絮凝反应区;III分离沉淀区;IV浓缩排泥区;V分离出水区。具体布置见图1~图4。

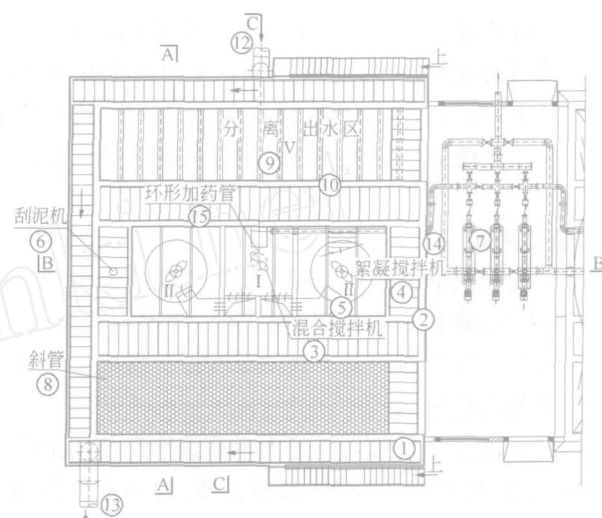


图1 中置式高密度沉淀池的平面布置

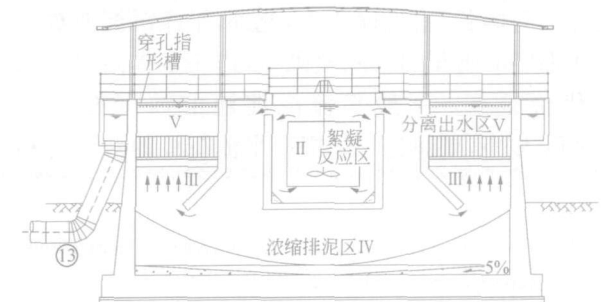


图2 A—A剖面

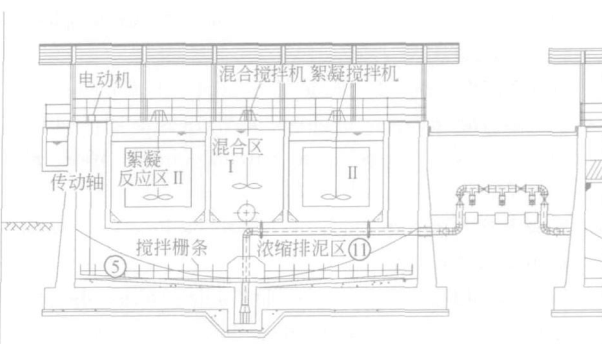


图3 B—B剖面

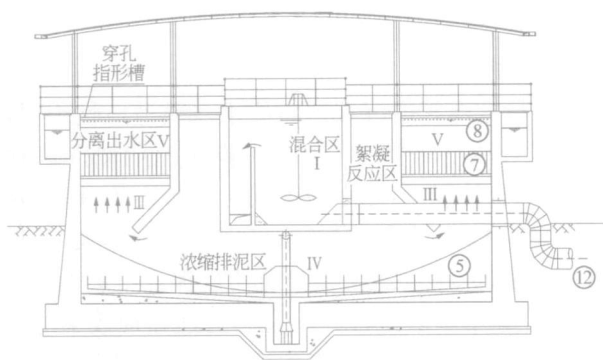


图4 C—C剖面

预处理后的原水加药并注入预加 PAM 活化回流污泥后先在池体中心的混合区充分混合,再送入两侧的絮凝区经慢速搅拌机回流和搅拌,加强絮凝效果,在混合池的出口再加入 PAM 助凝剂以提高泥水分离效果。由于进水在混合区加入了高浓度活化回流污泥,因此可以大幅缩短在絮凝区的絮凝时间,经整流后进入两侧的静止絮凝区逐渐由上而下进入沉淀区,在沉淀区进行最终泥水分离,清水区设置的集水槽汇流出水,污泥则在沉淀区下部进行浓缩,底部设浓缩刮泥机,浓缩后的污泥部分再回流到原水进水管,多余污泥高浓度排放。

这种新型沉淀工艺具有以下优点:

(1) 占地小。

(2) 絮凝沉淀时间短。由于污泥回流,可形成至少 5 000 mg/L 以上的高浓度混合液,大大提高了絮凝效果,缩短了机械搅拌阶段的絮凝时间;沉淀时由于沉降性能大幅提高再加上采用助凝剂,因而分离区的上升流速也可大幅提高,增大表面负荷。

(3) 减少了矾耗。

(4) 布水均匀。由于采用池中向两侧均匀布水形式,大大缩短了布水路径,从而有效避免了布水不均影响出水水质的问题。

(5) 沉淀池的水流流势合理,由于进出沉淀池水流是呈由上而下再由下而上垂直方向 180° 运动,泥水分离效果更彻底,不易跑矾花。

(6) 水厂可不设浓缩池。由于沉淀池底部采用浓缩刮泥,污泥含固率高,因此在未来污泥处理工艺中无需设浓缩池,可直接进行脱水处理。

(7) 结构设计、施工简单,布置简洁合理。

因此,同平流沉淀池、机械搅拌澄清池相比,高

密度沉淀池和中置式高密度沉淀池对浊度和有机物的去除率较高,运行成本较低;而中置式高密度沉淀池又在高密度沉淀池的基础上进行了许多改进,解决了配水不均、单池处理水量受限制、水流流向等问题,出水水质更有保证。在建设费用方面虽然比平流沉淀池要多增设回流泵、搅拌机等机械设备,但土建费用省,即使不考虑节约土地的费用,单项造价总投资与平流沉淀池的相比可持平甚至略低。

2 技术方案

2.1 基本原理及特点

(1) 工艺过程集中了斜管沉淀池、机械搅拌澄清池和高密度沉淀池的优点,将混合、絮凝、沉淀、污泥浓缩综合于一座方形池体内,进出池体只有三种功能的管道,即进水、出水和污泥回流排放管,布置简洁,有利于水厂总图的安排。

(2) 机械和跌落式加药混合,加上浓缩污泥的回流,不但节约药剂而且混合效果更好。

(3) 因为絮凝速度与颗粒浓度 N 、速度阶梯 G 和絮粒体积比 Ω 成正比关系

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{\eta}{\pi} G \Omega N$$

式中 η ——碰撞效率系数。

中置式高密度沉淀池采用机械混合和污泥大循环形成的高浓度絮体,在适当的水力条件下通过泥渣层拦截极大地提高了絮凝效果。

(4) 絮凝区与沉淀区结合平稳,使絮凝后的水均匀稳定地进入沉淀区。由于絮凝效果好,在斜管沉淀区下部,大部分絮凝体就已沉淀去除,通过斜管沉淀进一步降低浊度。

(5) 池底部设污泥浓缩和储存区,污泥经浓缩后通过机械刮泥机经池中心排泥坑排出的污泥浓度大。

2.2 实施步骤

中置式高密度沉淀池主要包括主池体,设置在主池体底部的浓缩排泥区,位于主池体上部的配水堰及挡板系统,与该配水堰及挡板系统连通的斜管区和矩形出水槽,在主池体外部设置污泥回流泵,连接到主池体排泥浓缩区并与外部连通的进水管,其特征在于:混合搅拌机、絮凝搅拌机及附属的不锈钢筒体、刮泥机、斜管区和矩形出水槽均位于主池体

内,污泥管道连通污泥回流泵和进水管及主池体下部浓缩排泥区。

其中絮凝搅拌机和污泥回流泵由变频电机控制;浓缩刮泥机底部带有搅拌栅条。

中置式高密度沉淀池通过紧凑的池体布置和相应的机械设备,实现高效的处理功能。高速混合搅拌机确保混凝剂与原水混合充分,设在池体中心带变频电机的絮凝搅拌机和附属筒体一起实现了原水与池体内部活性污泥的充分混合,在实际操作中可根据进水流量的变化灵活调节;池体内设多道配水堰和挡板,使池体各部分布水更均匀,易于矾花的形成,絮凝沉淀区的斜管和矩形出水槽确保出水水质;设于池体下部的慢速浓缩刮泥机使污泥集中到中心回流或排放,附设的搅拌栅条有助于底部污泥的浓缩。在池体外部还可设置污泥浓度计,与污泥回流泵联合控制,实现污泥回流和污泥适时排放。

中置式高密度沉淀池如图 1~图 4 所示,该沉淀池主要包括设置在主池体 ② 内的混合搅拌机 ③,絮凝搅拌机 ④ 及其附属的导流筒体 ⑤,主池体底部的浓缩排泥区 ⑥ 内设置的浓缩刮泥机 ⑥,位于主池体上部的配水堰及挡板系统 ⑩,与该配水堰及挡板系统连通的斜管区 ⑧ 和矩形出水槽 ⑨,在池体外部设置污泥回流泵 ⑦,连接到混合搅拌机 ③ 附近,位于进水管 ① 和沉淀池 ① 连接处的环形加药管 ⑪,连接污泥回流泵 ⑦ 和进水管 ① 及沉淀池下部浓缩排泥区 ⑥ 的污泥管道 ⑫。与现有技术区别之处在于:絮凝沉淀和污泥浓缩的主要设备混合搅拌机 ③、絮凝搅拌机 ④ 及其附属导流筒体 ⑤、刮泥机 ⑥、斜管区 ⑧ 和矩形出水槽 ⑨ 均设于沉淀池 ① 内,并与回流泵系统 ⑦ 通过污泥管道 ⑫ 紧密配合,比其他常用沉淀池和澄清池结构更紧凑,布水更均匀。絮凝搅拌机 ④ 和污泥回流泵 ⑦ 由变频电机控制,可根据实际使用情况灵活调节,确保出水水质。使用时,原水与回流泵 ⑦ 的回流污泥在混合搅拌机 ③ 附近混合并在环形加药管 ⑪ 处投加混凝剂和助凝剂后,经混合搅拌机 ③ 充分混合,由絮凝搅拌机 ④ 及其附属导流筒体 ⑤ 提升与池内活性污泥充分混合,再经配水和挡板系统 ⑩ 布配水后,通过斜管区 ⑧ 和出水矩形槽 ⑨ 后出水;池体下部污泥经刮泥机 ⑥ 推动和浓缩后积于沉淀池 ① 底部的浓缩排泥区 ⑥,由污泥回流泵 ⑦ 回

流,多余污泥定期排放。

2.3 实现条件

中置式高密度沉淀池对原水水质适应性很强,尤其是对浊度等指标,池内回流污泥的浓度高达 30 000 mg/L 以上,原水浊度从几十到几百 NTU 对于沉淀池内部回流污泥的浓度而言差别不大,通过加药量及运行参数的相应变化可以保证出水水质达标,因此原水水质条件并不是制约其处理效果的主要工艺条件。根据对已有生产实例的调查研究,池体结构精度、加药量控制、搅拌提升机械设备工况调节、污泥排放时机和持续时间是决定工艺是否成功的关键。

2.3.1 池体结构精度

池体采用大面积钢筋混凝土结构,内部安装混合搅拌机、絮凝搅拌机和周边传动刮泥机等机械设备,从确保池体内部水流条件和设备安装方面都有较高的精度要求,因此一般要求主池体土建误差应控制在 2 cm 以内,絮凝区和出水区等关键部位土建误差应控制在 1 cm 以内,絮凝导流桶等钢制部件亦严格控制其加工精度,确保满足工艺要求。

2.3.2 加药量控制

需投加混凝剂和助凝剂。混凝剂通常采用硫酸铝、聚合氯化铝和聚合氯化铝铁等常规投加药剂,助凝剂通常采用聚丙烯酰胺等。投加的混凝剂在池体内与原水颗粒杂质和池内污泥充分接触反应,发挥其吸附架桥作用,投加量较普通平流沉淀池少;助凝剂对降低出水浊度效果显著,但水质标准对水中丙烯酰胺单体有严格控制要求,因此需根据原水水质和水量变化调整加药量。

2.3.3 絮凝搅拌机械设备工况调节

这是调节池体内水力条件的关键。池体内安装的絮凝搅拌设备一般按设计水量的 8~10 倍配置提升能力,并采用变频装置调整转速来改变池体内水力条件,以适应原水水质和水量变化。通过对运行经验的摸索和总结,可以掌握在特定原水水质条件下,不同流量时的最佳运行工况。

2.3.4 污泥排放时机和持续时间

随着运行时间的延长,原水中的污泥不断在池体内富集,如不排放则会造成泥面上升继而影响出水效果,若排放过多则会降低池体内回流污泥的浓

度,影响接触絮凝的效果也会影响出水水质,因此必须严格控制排放的时机和持续时间。通过运行时间掌握其中规律,对于保证出水浊度和污泥浓缩效果具有重要意义。

2.4 设备构成及特点

中置式高密度沉淀池采用的主要工艺设备有混合搅拌机、絮凝搅拌机及附属的导流筒体、周边传动刮泥机和污泥回流泵。

2.4.1 混合搅拌机

叶轮设在水下,电机和齿轮箱设在水面以上,通过搅拌轴连接(见图5)。通过水下高速搅拌,使投加的混凝剂与原水充分混合,达到扩散和均匀混合的目的。转速一般为 $100 \sim 150 \text{ r/min}$,均匀度达95%以上。

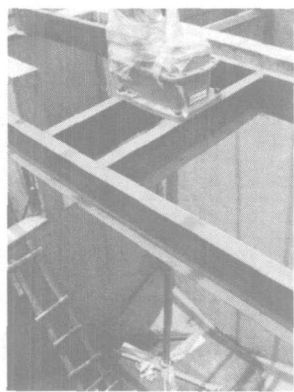


图5 混合搅拌机安装示意

2.4.2 絮凝搅拌机及附属导流筒体

叶轮和导流筒体设在水下,电机和齿轮箱设在水面以上,通过搅拌轴连接(见图6)。通过水下低速絮凝搅拌,使经投加混凝剂、助凝剂和回流污泥的原水充分凝聚。转速一般为 $30 \sim 70 \text{ r/min}$,可变频调速。导流筒体直径配合絮凝搅拌机的能力和要求。

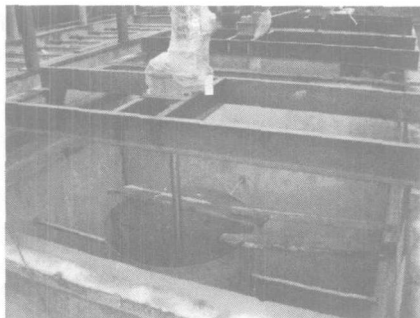


图6 絮凝搅拌机安装示意

2.4.3 周边传动刮泥机

电机和齿轮箱设在水面以上,传动齿轮和刮泥浓缩机设在池底,通过传动轴连接(见图7)。通过水下慢速刮泥将池底沉积污泥推向池底中央排泥斗,同时通过刮泥机上的栅条将污泥分子间隙水排除,达到污泥浓缩的效果。刮泥机外缘线转速一般为 $20 \sim 30 \text{ mm/s}$ 。

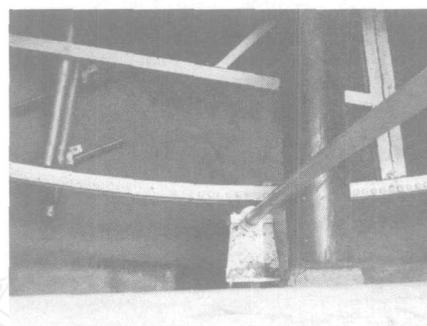


图7 周边传动刮泥机安装示意

2.4.4 污泥回流泵

采用污泥泵,安装在池体外污泥泵房内(见图8)。将池体下部浓缩污泥送入混合室与原水进行混合,当池体污泥积累过多时,将污泥排出池外。污泥回流泵能力按照设计水量的10%配置,采用变频调速电机,可根据实际水量和水质条件调节回流量。

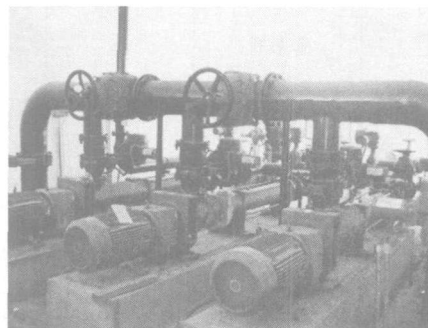


图8 污泥回流泵安装示意

3 实施效果

中置式高密度沉淀池目前宜用于城市大中型给水系统中,对土地资源紧张,征地费用较高,原水水质变化较大,出水水质要求较高,厂区生产污泥有浓缩脱水要求的地区尤为适用,今后还将进一步向城市污水处理、工业废水处理等相关领域发展。

嘉兴石臼漾水厂扩容工程中设计的 $8 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 中置式高密度沉淀池(见图9),已经于2005年7月

投入使用,较引进的高密度沉淀池结构更加紧凑合理且简单,占地面积可节约 10 %~15 %,与之后的 O_3 -BAC 工艺相结合,取得令人满意的效果。

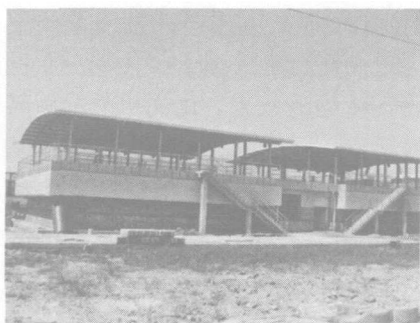


图9 嘉兴石臼漾水厂扩容工程中置式高密度沉淀池外立面

嘉兴石臼漾水厂扩容工程中置式高密度沉淀池具体运行条件如下:进水流量 3 000~3 500 m^3/h ,沉淀区溢流率 13.4~15.6 m/h ,混凝剂投加量 25~50 mg/L ,助凝剂投加量 0.08~0.1 mg/L ,进水浊度 30~90 NTU,出水浊度 0.6~1 NTU,其他水质指标见表 1。

表1 2005年9月石臼漾水厂扩容工程水质检测结果

项目	扩容工程原水	沉淀出水	出厂水
色度/度	31	12	<5
嗅阈值	2	0	0
可见物	微悬粒	无	无
pH	7.4	7.2	7.2
氨氮/ mg/L	0.39	0.3	<0.02
亚硝酸盐氮/ mg/L	0.143	0.114	<0.001
$COD_{Mn}/mg/L$	6.01	4.09	0.73
铁/ mg/L	1.33	<0.05	<0.05
锰/ mg/L	0.22	<0.05	<0.05

虽然目前尚未对其运行条件和加药量作进一步调试和优化,但石臼漾水厂扩容工程取用 IV~劣 V 类受污染地表水作为水源,目前出水浊度已达 0.6~1 NTU,优于取用同等原水石臼漾水厂 17 万 m^3/d 平流沉淀池的 1.5~2 NTU 出水浊度,其实施效果已经达到预计目标。

中置式高密度沉淀池顺利转化为实际生产使用,对于给排水专业技术的发展具有重要意义,是近

年来国内给排水行业在吸收国外先进技术和设计理念的基础上技术专业水平迅速提高,开始走上自主开发创新之路的体现。

中置式高密度沉淀池高效地利用池体体积,将混合、絮凝、沉淀的常规工艺和污泥浓缩工艺集中在一个构筑物中,省去了污泥浓缩池,省去了排泥水处理中的浓缩工艺过程,提高了工效。

中置式高密度沉淀池排泥含固率可达 3 %以上,远高于平流沉淀池 0.6 %~1 %的水平,故排泥水量仅相当于平流沉淀池的 20 %~30 %,减量化效果明显,节约水资源和浓缩提升电耗,再加上污泥回流使混凝剂充分发挥作用所减少的药耗,使该池型在节约能源和降低原材料消耗方面效益显著。

在经济效益方面,同等规模的情况下中置式高密度沉淀池占地面积和造价等指标优于传统高效澄清池和平流沉淀池。根据初步估算:占地面积较引进的高密度沉淀池少 10 %~15 %,较平流沉淀池少 50 %左右;单位造价较引进的高密度沉淀池低 20 %左右,与平流沉淀池基本持平;药剂成本与引进的高密度沉淀池基本相同,较平流沉淀池低 20 %左右。

在社会效益方面,中置式高密度沉淀池填补了国内给排水行业在沉淀和污泥浓缩先进工艺技术方面的空白,其节能节水节约材料等方面的优异表现也顺应当今提倡节约型社会的发展趋势。

目前,嘉兴南郊水厂一期工程 15 万 m^3/d 的中置式高密度沉淀池也已开工建设。

参考文献

- 1 上海市政工程设计研究院. 给水排水设计手册 - 城镇给水. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004. 4
- 2 聂梅生. 水工业工程设计手册 - 水资源及给水处理. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001. 12
- 3 许嘉炯, 雷挺, 沈裘昌, 等. 嘉兴石臼漾水厂扩容工程的设计和调试运行. 给水排水, 2006, 32(5): 1~5

○电话: (021) 51298214

E-mail: xu_jj_gp1 @smedi.com

收稿日期: 2006 - 11 - 13

修回日期: 2006 - 12 - 03