

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.12.006

复合沉淀池的衍变及工程应用

李 建, 王海梅, 白筱莉, 王 磊

(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 结合实际工程应用项目,介绍了复合沉淀池的衍变及运行效果。复合沉淀池是平流沉淀池和斜管沉淀池的优化组合,首先在斜管沉淀池前增设一段 12~25 m 长的平流沉淀池,不仅使大量矾花与泥渣在前端平流段沉淀,从而降低斜管沉淀池的泥量负荷,而且使位于复合沉淀池后部的斜管沉淀池前端不再积泥。其次,通过在池底配置刮泥小车、结合上向流排泥管沉淀池技术彻底解决了沉淀池排泥不畅的问题。复合沉淀池特别适用于冬季低温低浊、夏季高浊的水厂,具有结构简单、适用性强、降低运行成本、节省占地及投资等优势。

关键词: 复合沉淀池; 衍变; 给水处理; 平流沉淀池; 斜管沉淀池

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)12-0031-05

Development and Engineering Application of Composite Sedimentation Tank

LI Jian, WANG Hai-mei, BAI Xiao-li, WANG Lei

(CSECE AECOM Consultants Co. Ltd., Lanzhou 730000, China)

Abstract: With the actual projects, this paper introduces the development and operation effect of the composite sedimentation tank. The composite sedimentation tank is a combination of the horizontal flow sedimentation tank and the tube settler. A horizontal flow sedimentation tank with the length of 12~25 m is set in front of the tube settler. As a result, a large amount of aluminum flocs and sludge are precipitated in front of the horizontal flow sedimentation tank, which reduces the sludge loading rate of the tube settler and avoids sludge accumulation in front of the tube settler. By setting up a mud scraper at the bottom of the sedimentation tank and combining with the tube settler technology, the problem of poor sludge discharge in the sedimentation tank is completely solved. The composite sedimentation tank was especially suitable for water quality with low-temperature and low-turbidity in winter, also for high-turbidity in summer, which has the advantages of simple structure, strong applicability, low operation cost, saving land occupation and investment.

Key words: composite sedimentation tank; development; water supply treatment; horizontal flow sedimentation tank; tube settler

1 沉淀池技术应用现状

1.1 研究背景

常规给水处理工艺流程包括混凝、沉淀、过滤、

消毒。其中,沉淀池是从水中分离出悬浮物的基本操作单元。悬浮物颗粒的去除效率主要取决于颗粒在水体中所处的位置,粒径相同的悬浮物颗粒处在

水体表面和水体中部时,其去除几率是不同的。根据悬浮物颗粒的此特点,工程应用中衍生出了多种类型的沉淀池。

作为传统水处理构筑物的平流式沉淀池,具有水力条件好、沉淀效果稳定等优点,但停留时间长,尤其在处理低温低浊水时停留时间超过2 h,占地面积大,做外围护结构防冻投资较大。斜管沉淀池由浅池理论发展而来,具有处理效果好、停留时间短、占地面积小并适用于低温地区等优点,但对原水浊度适应性较差,且前端斜管易堵塞。在处理高浊度水的沉淀构筑物中,辐流式沉淀池的关键技术在于沉淀泥渣的排除,具有排泥方便的特点,又可作为高浓度泥沙原水的污泥浓缩池。高效沉淀池可通过污泥回流,发挥接触絮凝的作用。在絮凝区及回流污泥中投加高分子絮凝剂有助于絮凝颗粒聚结沉淀,沉淀出水经过斜管沉淀区,进一步沉淀分离出水中的细小杂质颗粒,下部设大容积污泥浓缩区定时排泥。给水处理中沉淀池设计的两大技术难点是沉淀效果不稳定和排泥不畅的问题。

针对以上技术难点,国内出现了多级斜管/斜板沉淀池和高效沉淀池。这两种沉淀池型都是对斜管沉淀池进行改造,不仅结构池体发生改变,还额外增加了斜管、斜板或过滤介质,构造复杂,但并没有解决斜管沉淀池前端易积泥、前端斜管易损坏、排泥不畅,以及进水水质变化(如冬季低温低浊,夏季高浊)所带来的冲击等问题。

1.2 复合沉淀池的衍生

西安市自来水公司曲江水厂建于1987年,工程设计规模 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,1990年8月通水运行。2001年6月国家颁布了新的《生活饮用水卫生规范》,该规范对供水水质提出了更高的要求。曲江水厂原水经现有工艺处理,出水水质已达不到新规范要求;再加上水厂经12年的生产运行,部分设备已经老化、故障频繁,严重影响了水厂的正常运行。鉴于以上情况,曲江水厂改造工程从2001年开始设计,改造设计规模 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

该厂原有絮凝沉淀工艺为回转隔板絮凝池,停留时间约20 min。斜管沉淀池出水最大允许浊度按照15 NTU进行控制,清水区平均上升流速约为2.8 mm/s,实际出水浊度一般在10 NTU以下^[1]。原工艺存在的主要问题:隔板絮凝池的絮凝效果差,易沉泥且排泥困难,尤其是渠道连接段沉泥严重,而且无

法利用原池型进行改造。由于原设计中考虑曲江水厂二期工程水处理工艺改为直接过滤工艺,即一期工程的沉淀池是以滤池外形为基础改设为斜管沉淀池,这种设计使斜管沉淀池一直存在上升流速大、沉淀效果差、排泥不畅、配水廊道积泥难以排除等问题。

改造工程可利用的场地为改造前的隔板反应池和配水廊道区域,水厂分为四个系列,改造时一个系列停水,其余三个系列正常运行。本次改造一方面要降低沉淀负荷,改善排泥条件;另一方面要结合现有场地条件,提高滤池截污能力。新建混合絮凝池,增加了13 m长的平流段沉淀池及23 m长的斜管沉淀池,将新建的两段沉淀池合建,保留原斜管沉淀池前4格,增大沉淀池的总有效面积,降低沉淀池负荷,清水区上升流速由2.8 mm/s降至1.46 mm/s。该方案比平流沉淀池需要的总长至少减少30 m。

改造运行后的混合絮凝池的沉淀效果、沉淀效率等各项技术性能均优于单一的沉淀池。采用正面全断面直接配水,有效提高了斜管沉淀池配水的均匀性,泥渣在流经长10~15 m的区段时大部分已自由沉降,有清晰的泥水分界沉降界面线,高浊度原水中大量的泥沙在前端平流段内沉淀,从而降低了斜管沉淀池的负荷,保证了沉淀池的出水水质。新建平流段和斜管沉淀池排泥统一采用池底小车刮泥,通过钢丝绳牵引小车将泥渣刮到排泥斗,再由排泥管排出。

曲江水厂改造完成后,全厂沉淀均采用复合沉淀池,几年的生产运行表明,新系统对不同季节的原水都具有较强的适应性,表现出良好的抗水量和水质冲击负荷的能力,有效解决了低温低浊、大流量高浊度水难处理的问题。

通过近几年的运行总结,曲江水厂最大日处理能力可达 $65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。2011年7月—9月雨季期间,进厂原水浊度持续偏高,连续一周超过300 NTU,特别是9月21日—23日,西安发生多年一遇的持续强降雨,致使原水最高瞬时浊度达1 700 NTU,这时的进厂水量约 $2.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$,接近满负荷运行,但经过处理后出厂水浊度仍然控制在0.4 NTU以下。

在随后的多个给水处理工程中,这种创新的沉淀池形式也同样表现出了优异的处理效果。给水厂使用此沉淀池,进水在低温低浊及短时高浊时,出水

水质均能稳定达标。为了更广泛地推广和应用这种技术,根据设计和运行经验,中国市政工程西北设计研究院有限公司申请并取得了复合沉淀池专利(专利号:ZL201020526832.4)。

2 复合沉淀池技术

2.1 基本构造

该复合沉淀池为前置平流段全断面配水斜管沉淀池,在斜管沉淀池前增设一段 12~25 m 长的平流沉淀池,大量矾花与泥渣在前端平流段沉淀,然后经斜管沉淀池二次沉淀,从而降低了斜管沉淀池的泥量负荷,使斜管沉淀池前端不再积泥,前端斜管不易损坏,延长斜管沉淀池的使用寿命,即使进水出现低温低浊或高浊时,出水水质也能稳定达标。根据设计经验和沉淀池运行效果,建议平流段最长 25 m,即可满足前端矾花与泥渣的沉淀需要,然后再经斜

管沉淀池二次沉淀。复合沉淀池平面布置及剖面分别见图 1、2。

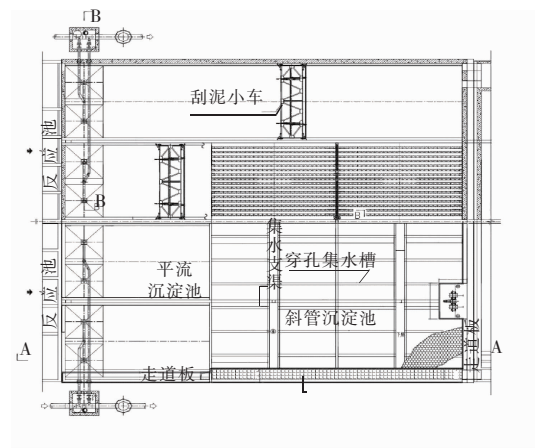


图 1 复合沉淀池平面布置

Fig. 1 Plane layout of the composite sedimentation tank

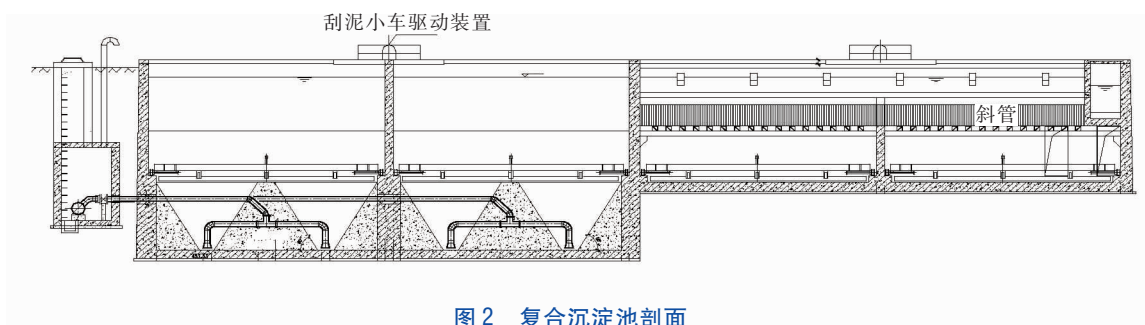


图 2 复合沉淀池剖面

Fig. 2 Profile of the composite sedimentation tank

2.2 排泥管特点

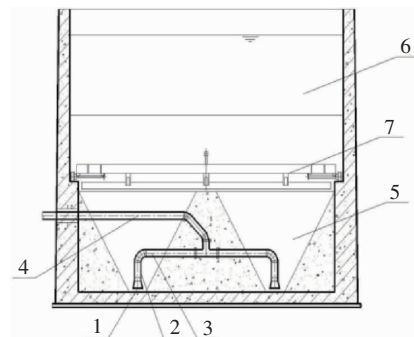
国内给水厂及污水深度处理厂沉淀池排泥一般有多斗重力排泥、穿孔管排泥和机械排泥三种形式及其组合形式。任何一种排泥形式的最终出泥都采用排泥管排出,常规排泥管起始段都是水平布置,因此水平穿孔管孔眼易堵塞、间歇排泥时排泥管端口易堵死。

针对现有水平排泥管易堵塞的问题,中国市政工程西北设计研究院有限公司设计出一种结构简单、排泥管不易堵塞、排泥流畅的上向流排泥管沉淀池技术(专利号:ZL201110188269.3),可有效增强沉淀池的排泥效果,改善沉淀池的出水水质。与复合沉淀池配套使用,主要在以下两方面解决了排泥不畅的难题:

① 排泥竖管进泥端口设喇叭口,便于沉淀池泥流依靠虹吸从排泥管入口向上流入排泥管,且进泥口不会堵塞。

② 排泥管起始段是竖管,竖管垂直安装

于排泥斗,便于排泥。排泥斗的泥流依靠虹吸从入口向上流入排泥管(见图 3),间歇排泥时排泥管入口的泥流在重力作用下流回排泥斗,排泥通畅,克服了水平排泥管管口易堵塞的缺点,彻底解决了沉淀池排泥管入口易堵塞、排泥不畅的问题。



1.喇叭口 2.竖排泥管 3.水平排泥管 4.排泥总管 5.排泥斗
6.斜管区 7.刮泥小车

图 3 上向流排泥管

Fig. 3 Schematic diagram of the upflow sludge discharge pipeline

2.3 技术特点

① 结构简单,实施方便,出水水质更优

复合沉淀池不额外增加斜管、斜板、过滤介质以及其他机械设备等,只是对现有的两个成熟池型进行优化组合,结构简单,容易实施。优化组合后增强了沉淀效果,减轻了后续构筑物滤池的负荷压力,因此提升了出水产品品质。

② 适用性强,抗冲击负荷能力强,效果稳定

复合沉淀池结合了斜管沉淀池适用冬季低温低浊水、平流沉淀池可处理夏季高浊水的特点,可以适应北方和南方的不同水质,对各种原水水质适用范围更广,抗冲击负荷能力更强,出水浊度长期小于0.3 NTU。

③ 改善排泥性能,提高沉淀效率

大量的矾花与泥渣在前端平流段沉淀,从而减轻了斜管沉淀池的泥量负荷,使位于复合沉淀池后部的斜管沉淀池前端不再积泥,前端斜管不易损坏;池底装有刮泥小车等机械排泥设备,实现了对复合沉淀池的机械排泥,彻底解决了沉淀池排泥不畅的问题,减轻了后续构筑物滤池的负荷压力,获得了更洁净的处理水。

④ 降低运行成本

前端斜管不易损坏,延长了斜管沉淀池的使用寿命,降低了斜管更换率;泥渣沉淀效率高,排泥通畅,减少了排泥次数、反冲洗次数,相应节约了水厂自用水量;排泥含水率降低,废水量减少,同时降低了废水提升费。

⑤ 节省占地及投资

复合沉淀池节省了占地面积,寒冷地区相应也减少了外围护面积,节约了投资。

⑥ 实施效果稳定

目前应用的几个大型给水厂都已经稳定运行多年,有北方的也有南方的,经历了冬季原水低温低浊、夏季洪水高浊的考验,沉淀池运行良好,排泥通畅,水厂出水浊度长期达到0.3 NTU以下,运行效果稳定,证明了此专利技术应用与实际工程是成功的,为我国南北方城市新建水厂的沉淀池设计提供了宝贵经验。

3 复合沉淀池技术的应用

目前,复合沉淀池技术在给水处理工程中已有大量成功的工程案例,由于复合沉淀池处理效果优异,相关应用项目也获得了国家级、省部级的多个优

秀勘察设计奖项。复合沉淀池部分应用项目如表1所示。

表1 复合沉淀池部分应用项目

Tab. 1 Application projects using the composite sedimentation tank $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$

项目名称	设计规模
兰州市水源地建设工程——彭家坪水厂	近期:75, 远期:100
西安市自来水公司曲江水厂技术改造工程	近期:60, 远期:80
银川都市圈城乡西线供水工程——银川供水工程	近期:50, 远期:90
新疆库尉经济开发区工业供水工程	近期:40, 远期:80
西咸新区第二水厂工程(一期)	近期:20, 远期:50
兰州新区第一水厂(石门沟厂)二期工程	近期:14, 远期:30
福建长乐市东区水厂 EPC 工程	近期:10, 远期:20
漳州台商投资区第三水厂及配水管网工程	近期:10, 远期:30
南安市石井镇第二水厂工程	近期:5, 远期:15
邳州市第二地面水厂工程	近期:10
甘肃省临夏回族自治州引黄济临供水工程	近期:10
尤溪城东水厂建设项目	近期:4, 远期:6
西安市长安区子午水厂	4
西安市草堂水厂工程	15

3.1 经济效益分析

近几年15个采用复合沉淀池的典型项目,总产水量为 $327 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 年产水量为 $11.94 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。总结分析这些项目,发现复合沉淀池带来的运行成本缩减主要体现在排泥水量减少,反冲洗次数减少,相应减少自用水量1%,按照原水费0.2元/ m^3 估算;降低斜管更换率1%/a,斜管造价700元/ m^2 ;排泥废水按规模的1%计,排泥含水率降低,废水量减少30%;提升水泵扬程按15m计算,电价按0.5元/($\text{kW} \cdot \text{h}$)估算。则各水厂年运行累计节约费用如下:原水费约238.8万元,斜管更换费约445.76万元,原水提升费约14.89万元。

3.2 工程应用

3.2.1 乌鲁木齐市南郊净水厂工程

南郊净水厂一期供水规模 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 二期供水规模 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。南郊净水厂水源由乌拉泊水库供水,乌拉泊水库水冬季为低温低浊,夏季洪水季节可能产生高浊现象,采用机械混合+折板絮凝+复合沉淀池+V型滤池工艺。在此工程应用中,复

合沉淀池对高浊水处理表现出极强的短时适应性,可以承受SS为3 000 mg/L的高浊度短时间冲击。

复合沉淀池单座尺寸为43.20 m×29.30 m×5.00 m,平流段分4格,单格宽7.08 m。正常负荷下平流段水平流速14.30 mm/s,沉淀时间15.20 min。后沉淀采用上向流斜管沉淀池,每座设置斜管沉淀池2组,单组长30 m,宽14.45 m,设计上升流速1.43 mm/s。长期运行效果表明,复合沉淀池耐冲击负荷能力强,对流量波动不敏感。投产后净水厂全年出水效果稳定,出水浊度<0.5 NTU。

3.2.2 兰州市水源地建设工程

兰州市水源地建设工程是涵盖给水处理系统中取、输、净、配水全流程的大型工程,水源来自黄河上游的刘家峡水库。

彭家坪净水厂供水规模 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,是兰州市供水历史上投资最大、投入集中建设工期最短、技术含量最高的超大型净水厂。王海梅等^[2]根据原水具有冬季低温低浊、夏季短时高浊的特点,采用机械混合+折板絮凝+复合沉淀池+气水反冲洗滤池,再经UV+次氯酸钠消毒后供给用户,并将以上构筑物综合设计在两座水处理设施间。

彭家坪净水厂1号水处理设施间的处理规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (内设一座池体,单座处理规模 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$),2号水处理设施间的处理规模为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (内设两座池体,单座处理规模 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$),池体尺寸为64.0 m×24.2 m×5.0 m,其中复合沉淀池主要设计参数为:①平流段长19.6 m,沉淀时间18.2 min,水平流速17.95 mm/s;②斜管段长44 m,表面负荷为 $5.04 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

3.2.3 福建长乐市东区水厂EPC工程

福建长乐市东区水厂设计净水能力 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,超负荷净水能力 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。长乐东区水厂取水口位于闽江下游咸潮河段,每年10月—次年3月经常发生海水倒灌进闽江内河,咸潮入侵及暴雨后短期的原水高浊度、低pH值是水厂面临的主要问题,经技术经济比较,最终选择复合沉淀池工艺并取得成功。

复合沉淀池工艺首次应用在东南地区的闽江水系,效果良好,单座尺寸为43.2 m×29.3 m×5.0 m,其中平流段长13 m,斜管段长30 m。平流段正常负荷下水平流速14.3 mm/s,沉淀时间15.2 min;

在超负荷20%工况下,水平流速17 mm/s,沉淀时间12.7 min。斜管段正常负荷下设计液面负荷 $5.15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,上升流速1.43 mm/s;超负荷20%工况下,设计液面负荷 $6.13 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,上升流速1.70 mm/s。沉后水浊度长期低于1 NTU,为滤后水浊度 $\leq 0.3 \text{ NTU}$ 奠定基础。经检测,出厂水浊度稳定在0.1 NTU以下,自2012年通水以来,各项技术指标和施工质量均达到或优于设计要求,为保证长乐市市民用水和城市各项事业的发展发挥了重要作用。

4 结语

复合沉淀池通用性强,可应用于各种规模给水处理工程;沉淀效果好,适应各种原水水质;抗冲击负荷能力强,占地面积小,工程投资省,运行费用低,在南北方不同给水处理工程中均有成功应用,在给水处理领域具有明显的先进性和实用性,对行业的发展具有积极影响。

参考文献:

- [1] 史春海,马小蕾,王海梅,等.前置平流段全断面配水斜管沉淀工艺在曲江水厂技改工程中的应用[J].给水排水,2010,36(12):22-24.
SHI Chunhai, MA Xiaolei, WANG Haimei, et al. Application of front horizontal flow whole section water distribution tube settler in Qujiang water treatment plant technological transformation project [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36 (12): 22 - 24 (in Chinese).
- [2] 王海梅,王斌.涵盖取、输、净、配系统的兰州市水源地建设工程[J].中国给水排水,2018,34(6):16-21.
WANG Haimei, WANG Bin. Construction project of Lanzhou water source covering the system of intake, diversion, purification, distribution [J]. China Water & Wastewater [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34 (6): 16 - 21 (in Chinese).

作者简介:李建(1982—),女,四川内江人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),西北院第二设计院总工,主要从事市政给排水工程的设计与研究工作。

E-mail:47341648@qq.com

收稿日期:2019-09-20

修回日期:2019-10-21

(编辑:丁彩娟)