

厂区给水工程同向流斜板沉淀池简介

曾开圣

(水电部成都勘测设计院)

南垭河三级电站给水工程,日产水量2.8~3.3万t。按国内现有工艺建成的生产规模为1.5~2.0万t的水厂占地都较大,不适合本电站地处峡谷,场地狭小的实际情况。经多次试验反复研究,选择了既能满足电站供水要求,又能减少占地的同向流斜板沉淀池方案。其工艺流程为:取水泵房→混合配水井→机械反应池→同向流斜板沉淀池——

电站冷却用水户

→重力无阀滤池→电站密封用水户和生活用水户。同向流斜板沉淀池是当时国内外先进的水处理工艺之一。其试验成果与理论探讨,曾刊登于中国建筑技术通讯《给水排水》杂志1981年第3期中,不重述。本文只概略介绍南垭河三级水电站同向流斜板沉淀池的设计。

1. 同向流概述

同向流具有沉淀效率高、占地面积小、沉淀脱水浓缩效果好、有利集中排泥,利于标准化、工厂化;也具有池体建材省、施工期短、费用低等优点。针对国内使用中暴露的不足之处,于1976年对同向流开展科学试验。在集水装置、板间积泥、集水孔眼堵塞、板间流态、斜板倾角、最大临界浊度和扩大同向流对原水浊度适应范围等方面有所突破和创新。

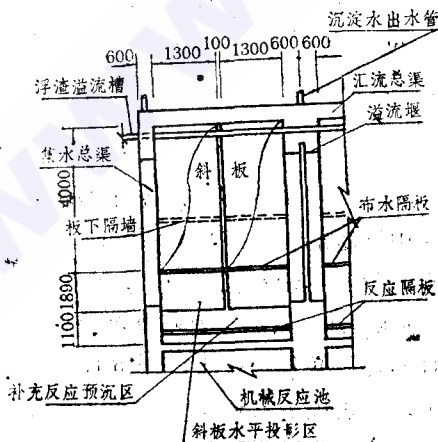


图1 沉淀池平面图

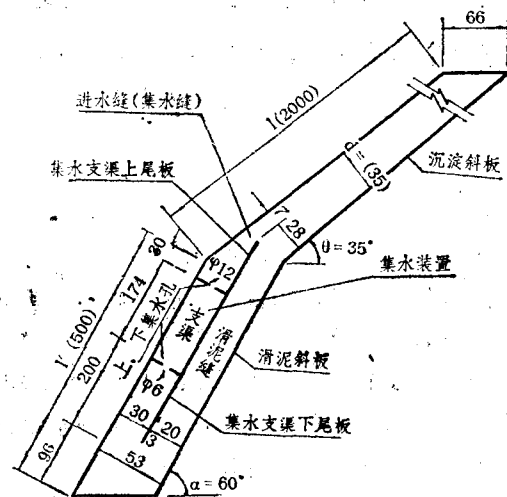


图2 单层斜板立面图

2. 同向流设计要点

(1) 池体设计 如图1。根据设计流量、反应池池宽和衔接条件,计算斜板宽度、层数、确定池体总长度,用K.M.姚氏公式计算沉淀斜板长度(图2)。

$$l = \left(\frac{V}{u_0} + \frac{1}{\sin\theta} \right) \frac{d}{\sin\theta} \quad (1)$$

式中 l ——沉淀斜板长度 (mm);

V ——板间平均流速 (mm/s);

d ——斜板净距 (mm);

θ ——沉淀斜板倾角;

u_0 ——颗粒沉降速度 (mm/s)。数值参见下表。

表1 水中颗粒沉降速度

颗粒直径 (mm)	不同水温时颗粒沉降速度 (mm/s)								
	10°C			15°C			20°C		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
0.001	0.00068	0.00049		0.00079	0.00056		0.0009	0.00064	
0.01	0.068	0.049		0.079	0.056		0.09	0.064	
0.02	0.274	0.197		0.316	0.220		0.36	0.256	
0.05	1.717	1.236		1.973	1.403		2.27	1.600	
0.10	5.12		4.60	5.88		5.35	6.63		6.10
0.15	11.50		9.15	13.25		10.42	14.90		11.69
0.20	17.11		14.50	18.76		16.15	20.42		17.80
0.50	50.71		56.68	52.36		60.00	54.02		63.32

注: (1)——“国内斜板沉淀池调查报告”资料(层流条件)。

(2)——阿尔汉吉斯基(苏)资料(紊流条件)。

(3)——A.A.萨尔基婁(苏)资料(紊流条件)。

根据试验和本工程所在河流泥沙含量情况,代入各水力特性参数后得:

$$l = \left(\frac{2.2}{0.5} + \frac{1}{\sin 35^\circ} \right) \frac{35}{\cos 35^\circ}$$

$$= 1954 \text{ mm}$$

设计采用 2 m。

国内一些文献对K.M.姚氏公式提出了一些异议,认为该公式是按分散颗粒,理想沉淀条件推导的,与混凝沉淀(颗粒在沉淀过程中逐步凝聚增大)有所不同,从而推证了凝聚颗粒沉降公式。试验中我们也发现按以上计算出的斜板长度(2 m)偏长。在有机玻璃单层斜板试验中,观察到肉眼可见颗粒在斜板 1.6~1.8 m 处基本沉淀完毕。但也有文献认为在斜板沉淀中,与沉淀池的沉淀条件相比,颗粒沉距小,停留时间短,继续凝聚作用不明显,实际差别微小。在生产设计中,用姚氏公式较安全。考虑多层斜板加工因素的精度差,应留有安全裕度,故仍采用以上方法设计板长。

确定了沉淀斜板及滑泥斜板长度后,根据需要的沉淀功能来设计沉淀池总深度。该深度由布水区深度、斜板区深度、斜板承托梁高度、板下泥渣浓缩室深度、积泥斗深度

等因素决定。本工程池深为 4.8 m, 另加干弦高度, 设计为 5.1 m。

(2) 沉淀池净表面负荷率(E) 沉淀池每 m^2 有效面积, 按国家规定的出水水质标准, 每小时处理水量的能力称负荷率。

$$E = \frac{q}{b \cdot b' \cdot Z \cdot n} \quad (2)$$

式中 E ——负荷率 ($m^3/m^2/h$);

b ——沉淀斜板的有效宽度 (m);

b' ——每层沉淀斜板宽度 (m), $b' = (d + \delta) / \sin\theta$;

Z ——斜板组行数;

n ——斜板层数;

q ——沉淀池流量 (m^3/h);

计算得 $E = 41.86 m^3/m^2/h$ 。一般平流沉淀池的 E 值为 $1 \sim 1.5 m^3/m^2/h$, 同向流的沉淀效率为平流的 20 倍以上。

(3) 进行流态核算 根据斜板沉淀单元的水力半径、板间流速, 验算雷诺数 (R_e) 和费罗德数 (F_r)。本工程 $R_e = 278 < 500$; $F_r = 3.36 \times 10^{-3} > 10^{-3} \sim 10^{-5}$ 。证明本设计优良。

如 $R_e > 500$, $F_r < 10^{-5}$ 则说明水力条件不合理。首先应调整各部尺寸, 增大湿周。无效或效果不显著时再调整流速。湿周增大后, 将增大沉淀池斜板的材料和面积; 减小流速又将降低负荷率, 同样是增大沉淀池面积。所以, 设计中应恰当地确定沉淀池出水浊度, 以确定各水力和几何参数。如 R_e 值并非愈小愈好, 太小层流条件好, 但不利于提高沉淀池的负荷率; 出水浊度低于 5 mg/l 也不利于滤池形成滤膜。总之, 太小没有必要, 太大难以保证出水水质, 确定恰当的 R_e 值是非常重要的。通过工作实践, 认为 $R_e = 200 \sim 300$ 为宜。

(4) 布水要均匀 沉淀池的均匀布水也很关键。本工程采用布水隔板及适当加深布水区深度, 基本上达到了水流和泥负荷均匀分布的目的。

(5) 集水装置 斜板的集水装置是关系到能否集取澄清水, 和集水均匀性的重要部位。要正确设计集水装置形状, 精确核算集水孔(缝)、集水支渠水头损失, 使集水孔水头损失为集水装置总水头损失的 90% 以上。本工程设计的刀型装置其值为 93.3%。

3. 设计特点

(1) 布置特点 见图 1。为解决板间积泥问题, 在沉淀池下部设一道隔水墙, 将其分成面积为 $5.4 m^2$ 的两相等部份, 使沉淀池成为既是整体, 又能单独排水(泥)的池体。排泥时分别开启各自的池底闸, 沉淀池 1/2 的斜板间产生较高流速, 由 22 转变为 $156 \sim 90 \text{ mm/s}$; 斜板内 R_e 由 278 突增为 $2012 \sim 1132$; 板间流态由层流变紊流; 斜板肋条处的流速由 0 转为 100 mm/s 以上, 破坏了沉渣的平衡状态, 板间积泥随之而被清除。

在溢流堰处设活动闸板控制水位, 三组沉淀池汇集于汇流总渠出水。利用沉淀池自身水头, 相互反冲集水装置和孔缝, 从而解决了孔眼堵塞问题。

为使沉淀池布水均匀, 除使集水孔缝的水头损失占集水装置总水头损失的 93.3%

外，还在集水总渠出口处设溢流堰，使通过沉淀池布水隔板的水流各单元体流线的总长相等（不能在总渠其它部位出口），有利于均匀布水。

解决了布水均匀问题，不等于斜板口各层斜板的浊度负荷分布均匀。因此，在第一层斜板口前设置布水隔板，使斜板进口处至沉淀池水面的水深达1~1.1m，强制通过布水隔板堰顶的水流呈异重流状态。本工程投产后，沉淀池池面浑浊程度十分均匀，对延长斜板工作周期有显著效果。

国外有文献记载（西德陶茨公司），同向流只能适应于浊度为800以下的原水，而使同向流的应用受到局限。为此，本设计利用斜板与反映池直壁间之容积，按原水最大浊度之需要，适当增加补充反应预沉区的尺寸，设置一道反应隔板，板前补充机械反应（小于15分钟）之不足。板后除继续反应外，水流流速由0.2m/s降至0.05m/s，则反应隔板与布水隔板之间形成悬浮反应沉淀区，可除掉相当一部份浊度，有效地降低了沉淀池斜板的浊度负荷。本工程实测原水浊度为2600，而仍能适应，为同向流在高浊度地区应用开辟了新途径。

(2) 集水装置特点 国外采用破口式低流速和池底连续排泥（排水）方式。国内自1974年以来，先后设计出矩形、菱形、梯形等集水装置，以采用梯形为多。其优点在于构造简单、加工方便；集水孔设于沉淀板下端，利于输送沉淀板上的沉泥；设有上下两侧集水孔，间断排泥，节约水量和混凝剂（国外只有上侧集水，连续排泥，耗水量大）。上下侧集水（ $V=0.4\sim 0.6\text{m/s}$ ）流速高，有利于支渠均匀集水、增大收水半径，在大型斜板组合中，利于减少集水总渠数，从而节约占地和投资。

梯形集水装置的不足有以下几点。一是其上集水孔位于沉淀板转向以下，集水流速高，沉淀板上沉泥的运动轨迹突变。在高流速作用下，沉泥重新泛起随澄清水进入集水装置，出水水质不易保证。二是下侧集水孔断面突然缩小和突然扩大对集水的干扰。下集水孔外流速场极不稳定，下沉的沉泥与上升的澄清水相互搅扰，下孔所集之水水质更

表 2

测定时间 (1983年) 月·日·时·分	沉淀池编号 (一、二、三)	原水水样参数			同向流沉淀池出水水样参数		
		水温 °C	浑 浊 度 (mg/l)	pH值	水温 °C	浑 浊 度 (mg/l)	pH值
11·1·9·45	—	11	160	6.6	11	30	8
10·16	—	11	160	7.0	11.2	15	8.4
12·20	—	11	90	8.8	11	5	8.3
13·10	—	11	100	8.1	11	5	8.8
13·55	—	11	80	8.3	11	5	8.7
14·50	—	11	100	7.8	11	8	7.7
12·13·13·35	—	9	80~100		9	8	8.7
	二	9	80~100		9	8	8.0
	三	9	80~100		9	5	7.9
12·15·12·35	三	7.5	140	6.25	8	25	6.0
13·40	三	8	130	7.7	8	8	7.2

(下转45页)

- (2) 设计压力 39 kg/cm^2 作用下的岔管各主要部位应力。
- (3) 内水压力 50 kg/cm^2 (为设计压力 1.282 倍) 下的岔管各主要部位应力。
- (4) 有关部位的位移图。

六、结 语

从各项试验中可得出以下结论:

1. 原型岔管水压试验

(1) 在整个试验过程中, 随时检查岔管各条焊缝, 都没有发现有水汽泡和渗漏现象。当试验压力升到设计压力 39 kg/cm^2 和最大试验压力 50 kg/cm^2 时, 反复敲击岔管各部位, 也没有发生任何异常现象。

(2) 整个试验过程中, 进水量与压力关系相关线为一条直线。说明岔管直到最大试验压力 50 kg/cm^2 , 仍处于弹性阶段工作范围内。因此, 岔管的整体强度(承载力)是高的。

(3) 实测月牙肋板上各截面正应力都是拉应力, 其应力分布较为均匀, 说明肋板已承受拉力, 完全符合月牙肋岔管的受力原理。实测肋板截面最大平均拉应力发生在中央截面, 其值为 1628 kg/cm^2 。

2. 原型观测资料

本岔管自投入运行多年来, 通过原型观测资料的初步整理, 分析当岔管在内水压力 28 kg/cm^2 作用下时(该电站投入运行以来, 尚未出现三台机全甩负荷的运行情况, 故岔管作用内水压力尚未达到设计压力 39 kg/cm^2 , 28 kg/cm^2 是运行以来的最大值), 岔管管壁最大环拉应力发生在肋旁管壁区(岔 1—23 测点位置), 其值 1176 kg/cm^2 ; 第二大环拉应力发生在钝角区(岔 1—5 测点位置), 其值 1077 kg/cm^2 。以此值用线弹性(因原型水压试验时, 岔管在 50 kg/cm^2 内水压力作用下, 仍处于弹性阶段工作范围内)方法推算岔管在承受设计压力 39 kg/cm^2 时的相应环拉应力分别为 1582 kg/cm^2 和 1449 kg/cm^2 , 大大低于设计允许应力 2005 kg/cm^2 , 说明岔管处于埋管状况下运行, 围岩承载了内水压力。

综上所述, 可得出结论: 本岔管的结构是安全可靠的, 设计是合理的, 先进的。

(上接 54 页)

差。三是沉淀板上陈积性积泥产生雪崩或滑塌时, 梯形上侧面与滑泥板间存有泥块, 会堵塞滑泥缝和集水孔, 使斜板失去水处理功能。本工程设计的刀型装置, 较好的解决了上述问题。

本工程 1983 年建成。为检验设计与施工质量, 同年 10~12 月由运行、施工、设计单位联合组织生产性试验, 检验同向出水的浊度, 成果如表 2。