

城市污水处理技术经验

国家建委建筑科学研究院城市建设研究所

中国建筑工程出版社

城市污水处理技术经验

国家建委建筑科学研究院城市建设研究所

• 限 国 内 发 行 •

中国建筑工程工业出版社

本书主要介绍城市污水处理的新技术,包括斜板斜管沉淀池、完全混合曝气沉淀池、浅层曝气、深水曝气和氧气曝气、生物转盘、塔式生物滤池、污水灌溉、深度处理以及污泥处理和利用等。

城市污水处理技术经验

国家建委建筑科学研究院城市建设研究所

·限国内发行·

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米^{1/16} 印张: 10³/8 字数: 255千字

1977年12月第一版 1977年12月第一次印刷

印数: 1—11,530册 定价: 0.80元

统一书号: 15040·3397

前 言

根据国家建委1974~1975年全国工程建设科学技术发展计划(草案)中关于“城市污水处理技术”这一科研项目的要求,由国家建委建筑科学研究院负责,上海市政设计院、吉林省给水排水勘察设计院、湖北给水排水设计院、甘肃省建筑勘察设计院、四川省给水排水设计院、国家建委建筑科学研究院城市建设研究所等单位参加,共同进行了调查研究,总结了近年来我国城市污水处理的新技术(包括工业废水处理中适用于城市污水处理的新技术),汇编成册,供从事给水排水的科研、设计和生产管理方面的有关人员参考。

国家建委建筑科学研究院城市建设研究所

一九七七年二月

目 录

前 言

一、斜板、斜管沉淀池	1
(一) 斜板沉淀池	1
(二) 斜管沉淀池	5
(三) 斜板、斜管沉淀池与普通沉淀池比较	9
(四) 斜板、斜管沉淀池主要问题探讨	10
(五) 斜板、斜管材料	15
(六) 结语	15
二、完全混合曝气沉淀池	18
(一) 组成和特点	20
(二) 设计计算及其主要参数	21
(三) 主要问题探讨	25
(四) 结语	41
三、其他曝气	43
(一) 浅层曝气	43
(二) 深水曝气	47
(三) 氧气曝气	48
四、生物转盘	53
(一) 工作原理和特点	53
(二) 生物转盘的构造与布置	57
(三) 生物转盘的微生物	63
(四) 设计计算	65
(五) 主要问题探讨	70
(六) 结语	83
五、塔式生物滤池	85
(一) 塔滤构造	88
(二) 塔滤的微生物	90
(三) 设计计算	92
(四) 主要问题探讨	95
(五) 结语	101
六、污水灌溉	103
(一) 污水灌溉水质要求和预处理	103
(二) 污水灌溉的净化作用	105
(三) 污水灌溉定额	107
(四) 污水终年利用	108

(五) 存在问题	109
(六) 结语	114
七、深度处理	116
(一) 活性碳(活化煤)	116
(二) 臭氧	123
(三) 光氧化	127
(四) 超滤	129
八、污泥处理和利用	132
(一) 污泥消化	132
(二) 污泥气的利用	139
(三) 污泥的机械脱水	141
附录 平流式沉淀池水力刮泥机	159

一、斜板、斜管沉淀池

早在本世纪初,浅池沉淀的基本理论就被提出,但由于受沉淀池进出口配水条件的限制,水流的紊流状态和外界条件的影响以及排泥问题难以解决等,长期在实际生产中没有得到应用。其后也进行了不少的研究,直到六十年代,斜板、斜管沉淀池的出现,浅池沉淀理论才得到推广应用。

浅池沉淀理论表明,分散颗粒在沉淀池中的去除率是颗粒沉降速度、池子表面积和流量的函数,与沉淀池深度和停留时间无关。斜板、斜管沉淀技术就是在浅池理论的基础上发展起来的。斜板、斜管沉淀池具有如下的特点:斜板、斜管的采用,使单位池体积中的沉淀面积大大增加,而且水流在板间或管内具有较大的湿周,较小的水力半径,所以雷诺数小,固体和液体在层流条件下分离,大大提高了沉淀效率。由于颗粒沉降距离的缩小,沉淀时间大大缩短。由于沉淀池体积的减小,因而占地少。在活性污泥法的二次沉淀池中采用斜板、斜管,由于沉淀时间的缩短,对保持污泥的活性也极为有利。

由于斜板、斜管沉淀池具有不少优点,我国在六十年代中开始研究斜板沉淀池用于给水处理和选矿、尾矿的固液分离。最近几年来各地开展了斜板、斜管沉淀池应用于城市污水和工业废水处理的试验研究工作,有些工业废水处理已采用斜板、斜管沉淀池。

按照水流在斜板间的流动方向,斜板沉淀池可分为上向流、下向流和横向流等类型。目前国内城市污水和工业废水处理上使用和试验的是上向流斜板沉淀池和属于上向流类型的斜管沉淀池,因此本文只介绍上向流斜板、斜管沉淀池。

在城市污水处理方面,北京高碑店污水处理厂进行了斜板一次沉淀池的模型试验;西安污水处理厂进行了斜管一次沉淀池的模型试验、半生产性试验和生产性试验;上海北区污水处理厂进行了活性污泥法斜管二次沉淀池的小型试验。在工业废水处理方面,有较多的斜板、斜管沉淀池在各种废水处理中被采用。用活性污泥法处理含酚、含氰废水采用斜管二次沉淀池的有北京首钢焦化厂,运转以后,进行了生产性测定工作。在印染废水处理中,采用斜管混凝沉淀池的有上海印绸三厂、上海针织漂染一厂和湖北襄樊织布厂;在印染废水活性污泥法处理中采用斜板、斜管二次沉淀池的有云南印染厂和武汉印染厂。北京化工二厂在生产上已采用斜管混凝沉淀池处理含汞废水。鞍钢烧结厂在铁矿尾矿脱水的辐流式沉淀池中加了斜板。抚顺石油二厂进行了斜板隔油池的试验研究工作。

现将我们这次调查研究工作中所了解到的斜板、斜管沉淀池用于城市污水和工业废水处理的试验、运转的主要参数列于表1-1中。其它一些参数可见后面叙述的有关部分。

(一) 斜板沉淀池

污水从沉淀池斜板下缘进入后,水流由紊流转变为层流,水和污泥颗粒在层流条件下

斜板、斜管沉淀池试验、运转情况

表 1-1

厂名	沉淀池类型	污水类别	规模 (米 ³ /时)	表面负荷 (米 ³ /米 ² ·时)	间距或 管径 (毫米)	斜板、斜管 长度 (毫米)	倾角 (度)
北京高碑店污水处理厂	斜板一次沉淀池	城市污水	模型试验	7.2	50	900	60
				10.8	100	1200	
					150	1500	
					200	1800	
						2500	
西安污水处理厂	斜管一次沉淀池	城市污水	生产性试验	2.66~18.65	$d_{H1}=50$	1000	60
上海北区污水处理厂	斜管二次沉淀池	城市污水	小型试验	5	$d_{H1}=43$	1000	60
鞍钢烧结厂	斜板一次沉淀池	选矿废水	1200		130	1732	60
云南印染厂	斜板二次沉淀池	印染废水	167	3.4	152	809	60
上海印绸三厂	斜管混凝沉淀池	印染废水	20	3.5	$d_{H1}=25$	1000	60
上海针织漂染一厂	斜管混凝沉淀池	印染废水	70	3.5	$d_{H1}=25\sim30$	1000	60
湖北襄樊织布厂	斜管混凝沉淀池	印染废水	40	3.6	$d_{H1}=36$	950	60
北京化工二厂	斜管混凝沉淀池	含汞废水	5	2.9	$d=50$	800	60
首钢焦化厂	斜管二次沉淀池	含酚、含氰废水	200	3.06	$d_{H1}=50$	1000	60
北京焦化厂	斜管二次沉淀池	含酚、含氰废水	模型试验	21.6		900	60
武汉印染厂	斜管二次沉淀池	印染废水	在生产池中 用1米 ² 试验	3.6~5.8	$d_{H1}=36$	900	60

注： d_{H1} ——内切圆直径； d_{H2} ——外接圆直径。

进行分离。为保证固液两相很好地分离，斜板需要一定的长度。在一定负荷下，悬浮物去除效果随斜板长度的增大而提高。斜板长度太小，水和污泥分离不充分，悬浮物去除效率低。斜板长度增加到一定值，如再增加，沉淀效率的提高就不显著了。增加斜板长度不仅增加斜板的造价，而且沉淀池的深度要增大，从而增加整个池子的造价。斜板之间的垂直距离（简称间距）的大小直接影响单位体积内沉淀面积的大小，从提高沉淀池的沉淀效率来看，斜板间距越小越好，但为了施工方便和防止斜板间可能引起的堵塞，一般不小于50毫米。

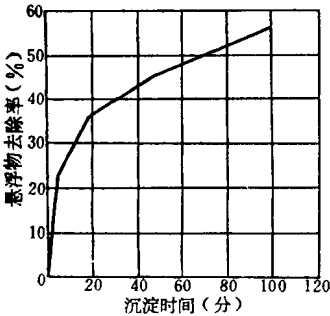


图 1-1 污水沉淀曲线

进水点的距离为0.9、1.2、1.5、1.8、2.5米处取样，其试验结果见表1-2和表1-3。

当表面负荷为7.2米³/米²·时，不同斜板间距、不同斜板长度与悬浮物去除率的关系曲线见图1-2。

从表1-2、1-3和图1-2可以看出：

1.表面负荷为10.8米³/米²·时，悬浮物去除率低，负荷为7.2米³/米²·时，效果较好。

表面负荷为7.2米³/米²·时的试验结果

表 1-2

斜板间距 (厘米)	与斜板进水 点的距离(米)	停留时间 (分钟)	悬 浮 物			资料统计 次 数
			进水(毫克/升)	出水(毫克/升)	去除率(%)	
5	0.9	6.5	358	204	43	4
	1.2	8.7	348	179	48.5	9
	1.5	11	334	161	52	10
	1.8	13	340	132	61.3	9
	2.5	18	340	131	61.5	9
10	0.9	6.5	435	246	43	4
	1.2	8.7	350	185	47	14
	1.5	11	382	191	50	12
	1.8	13	335	159	52	10
	2.5	18	341	153	55	12
15	0.9	6.5	362	215	40.6	4
	1.2	8.7	363	209	42.5	9
	1.5	11	372	205	45	13
	1.8	13	347	181	48	8
	2.5	18	347	163	53	9
20	1.2	8.7	389	233	40	6
	1.5	11	389	225	42	6
	1.8	13	389	243	38	6
	2.5	18	389	203	48	6

表面负荷为10.8米³/米²·时的试验结果

表 1-3

斜板间距 (厘米)	与斜板进水 点的距离(米)	停留时间 (分钟)	悬 浮 物			资料统计次数
			进水(毫克/升)	出水(毫克/升)	去除率(%)	
5	0.9	4.3	352	242	31.3	8
	1.2	5.7	352	206	41.5	8
	1.5	7.2	328	224	31.7	10
	1.8	8.6	336	191	43.2	12
	2.5	12	355	156	56	9
10	0.9	4.3	335	246	29.5	6
	1.2	5.7	351	230	34.4	10
	1.5	7.2	351	224	36.1	10
	1.8	8.6	367	194	47	9
	2.5	12	316	154	51.2	10
15	0.9	4.3	361	271	25	7
	1.2	5.7	342	255	26	8
	1.5	7.2	332	231	31	10
	1.8	8.6	368	257	30	5
	2.5	12	329	163	50	9
20	1.2	5.7	300	194	35	6
	1.5	7.2	333	222	33	9
	1.8	8.6	364	227	38	8
	2.5	12	321	167	48	8

2.表面负荷为 $7.2\text{米}^3/\text{米}^2\cdot\text{时}$ ，斜板长度大于 1.5米 ，斜板间距小于 10厘米 时，悬浮物去除率可达 50% 以上。通过高碑店斜板沉淀试验，认为当表面负荷为 $7.2\text{米}^3/\text{米}^2\cdot\text{时}$ ，斜板以采用斜长为 1.5米 ，间距为 10厘米 较为适宜。

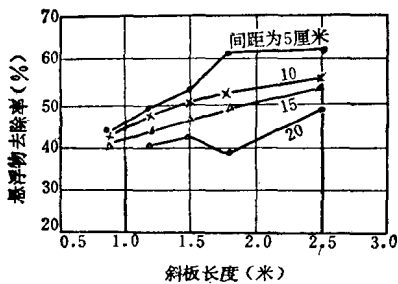


图 1-2 斜板长度、间距与悬浮物去除率的关系曲线

当斜板倾角为 60° 时无堵塞现象,排泥无问题。

在高碑店污水斜板沉淀试验时，还对悬浮物去除率与五日生化需氧量(BOD_5)去除率的关系进行了比较，并测定了斜板沉淀对蛔虫卵的去除率。试验结果见表1-4和表1-5。由表可以看出，悬浮物去除率为 $40\sim 50\%$ ，相应的 BOD_5 去除率为 $20\sim 25\%$ 。蛔虫卵去除率为 $60\sim 80\%$ 。

云南印染厂用活性污泥法处理印染废水，沉淀池原设计为平流式,共两格,每格平面尺寸为 $7\times 32\text{米}$ ，水深为 2米 。1973年将其中一格改为上向流斜板沉淀池。沉淀池表面积为 $7\times 7\text{米}$ ，设计流量为 $167\text{米}^3/\text{时}$ 。斜板为长 809毫米 、宽 7000毫米 、厚 4毫米 的聚氯乙烯塑料板。斜板倾角为 60° ，斜板间距为 152毫米 。通过几个月的运转，进行了对比测定，结果见表1-6。

悬浮物去除率与 BOD_5 去除率的关系

表 1-4

日 期	悬 浮 物			BOD_5			表面负荷 ($\text{米}^3/\text{米}^2\cdot\text{时}$)
	进水(毫克/升)	出水(毫克/升)	去除率(%)	进水(毫克/升)	出水(毫克/升)	去除率(%)	
75.3.11.	280	171	39	77.4	69.3	10.4	7.2
	373	245	34	133.5	119.2	10.7	
	373	219	41	133.5	107	19.8	
75.3.18.	413	220	47	197	159	19.3	
	238	103	56	120.8	89	26	
	344	146	57	245	176	28	

蛔 虫 卵 去 除 率

表 1-5

日 期	进 水 蛔 虫 卵 (个/升)	出 水 蛔 虫 卵 (个/升)	去 除 率 (%)	表 面 负 荷 ($\text{米}^3/\text{米}^2\cdot\text{时}$)
75.3.31.	274	84	69	10.8
75.4.1.	100	18	82	
75.4.2.	186	50	73	
75.4.3.	78	22	72	
75.4.7.	172	62	64	

斜板沉淀池同平流式沉淀池的表面负荷与处理效率的比较

表 1-6

池 型	表面负荷	悬 浮 物			耗 氧 量		
	($\text{米}^3/\text{米}^2\cdot\text{时}$)	进 水 (毫克/升)	出 水 (毫克/升)	去 除 率 (%)	进 水 (毫克/升)	出 水 (毫克/升)	去 除 率 (%)
斜板沉淀池	3.4	2115	32.5	98.5	432	43.2	90
平流式沉淀池	0.75	2018	60	97	384	46.2	87.9

斜板中不同位置的悬浮物及其去除率如表 1-7。可以看出，随着斜板长度的增加，悬浮物去除率随之提高。

斜板不同位置的悬浮物
(进水悬浮物为2115毫克/升)

表 1-7

与斜板进水点的距离(毫米)	109	309	509	709	809	出水
悬浮物 (毫克/升)	721	200	185	50.5	42.5	32.5
悬浮物去除率 (%)	65.9	90.5	91.2	97.6	97.9	98.5

鞍钢烧结厂在尾矿脱水的直径为20米的辐流式沉淀池加设了塑料波形斜板，斜板长度为1732毫米，斜板间距为130毫米，倾角为60°。表面负荷为3.82米³/米²·时，尾矿水固体浓度由沉淀前2.34%降到0.023%。与另一未加斜板的直径为48米的池子相比，在沉淀效率相同时，表面负荷可提高2倍。

抚顺石油二厂等单位在处理含油废水过程中，对斜板隔油池进行了试验研究。采用聚脂玻璃钢波纹斜板，板长为1750毫米，间距为40毫米，倾角为45°。试验结果表明，采用波纹斜板隔油池处理含油废水能提高处理效率，当进水含油为100~300毫克/升，出水含油为40毫克/升，而平流式隔油池出水含油为80~120毫克/升，停留时间由原来平流式隔油池的120分钟，缩短到斜板隔油池的15分钟。采用斜板隔油池后，能够去除的最小油粒粒径为50微米，而平流式隔油池能去除的最小油粒粒径为150微米。

国外对斜板沉淀池进行了不少研究，而且已在生产实践中采用。如瑞典两个大型城市污水处理厂采用了斜板沉淀池。夏普拉污水处理厂日处理量13万米³，污水经初次沉淀、活性污泥法以及化学混凝沉淀三级处理。斜板沉淀池用于活性污泥法的二次沉淀，采用的表面负荷为5.7米³/米²·时，斜板长度为2米，斜板间距为40厘米和20厘米两种，倾角为51°和45°两种，斜板沉淀池进水悬浮物为3000毫克/升，出水为30毫克/升。采用污泥斗排泥。乌普萨拉污水处理厂日处理量17万米³，污水也经三级处理。斜板沉淀池用于化学混凝法的三次沉淀，表面负荷为6.0米³/米²·时，斜板长度为2.5米，间距为15厘米，倾角为55°。出水悬浮物小于10毫克/升，BOD₅为5~10毫克/升。采用机械排泥。两个污水处理厂的斜板沉淀池都采用了3毫米厚的聚氯乙烯波形塑料板。

(二) 斜管沉淀池

1. 表面负荷（或上升流速）及其对沉淀效率的影响

西安污水处理厂等单位在1975年6月至9月对斜管用于城市污水一次沉淀进行了生产性试验。试验池子是由直径为9米的竖流式沉淀池改装的，斜管用石棉水泥瓦和油毡做成，如图 1-3 所示。斜管倾角为60°，斜管长度为930毫米。上升流速（指垂直上升流速，下同）和表面负荷与悬浮物去除率的关系见表 1-8。可以看出，悬浮物去除率随上升流速的提高，即随表面负荷的加大而降低。

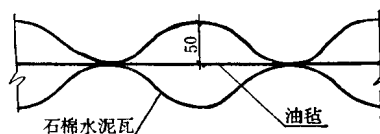


图 1-3 用石棉水泥瓦和油毡做成的斜管断面

上升流速和表面负荷与悬浮物去除率的关系

表 1-8

上升流速(毫米/秒)	1	2	3	4	5	6	7
表面负荷(米 ³ /米 ² ·时)	2.66	5.33	7.99	10.65	13.32	15.98	18.65
悬浮物去除率(%)	67.10	60.50	57.10	54.10	50.50	47.50	44.10

北京市市政设计院在北京焦化厂活性污泥法处理含酚废水的二次沉淀池中进行了斜管沉淀试验, 进水为曝气池出水, 有大量活性污泥, 具有明显的絮凝现象, 沉淀性能较好, 沉降比是: 5分钟一般为30~40%, 30分钟为20~30%, 进水悬浮物为3000~4000毫克/升, 污泥指数为63~97。

试验用的斜管为一根直径53毫米的圆管, 长度为900毫米, 倾角为60°, 试验的上升流速与悬浮物去除率的关系见表1-9。

上升流速与悬浮物去除率的关系

表 1-9

上升流速(毫米/秒)	悬 浮 物		
	进 水 (毫克/升)	出 水 (毫克/升)	去 除 率 (%)
4.1	3551	43	98.8
5.8	3278	48	98.6
7.0	3459	56	98.1
8.1	2894	65	97.0

从表1-9可以看出, 悬浮物去除率随上升流速的提高, 即随表面负荷的加大而降低, 出水悬浮物也相应提高。

上海北区污水处理厂进行了斜管沉淀小型试验, 试验用污水为曝气池出水, 斜管长1米, 倾角为60°, 采用0.4毫米厚的软聚氯乙烯板做成的正六边形断面斜管, 内切圆直径为43毫米, 上升流速可达1.4毫米/秒, 即表面负荷为5米³/米²·时。

上海印绸三厂、上海针织漂染一厂和湖北襄樊市织布厂都采用混凝沉淀方法处理印染废水, 处理后的水回用于生产。上海印绸三厂和襄樊市织布厂采用硫酸铝和石灰作混凝剂, 上海针织漂染一厂使用碱式氯化铝。表面负荷和处理效果见表1-10。

表面负荷和处理效果

表 1-10

厂 名	表面负荷 (米 ³ /米 ² ·时)	悬 浮 物			BOD ₅			耗 氧 量			色 度		
		进 水 (毫克/升)	出 水 (毫克/升)	去除率 (%)	进 水 (毫克/升)	出 水 (毫克/升)	去除率 (%)	进 水 (毫克/升)	出 水 (毫克/升)	去除率 (%)	进 水	出 水	去除率 (%)
上海印绸三厂	3.5	200	50	75				1256	225	82	250	20	92
上 海 针 织 漂 染 一 厂	3.5				680	92	86				400	10	97.5
					430	60	86				400	8	98
					324	31	90				160	6	96
襄樊市 织布厂	3.1							58.5	34.9	40	3125	31.25	99

北京化工二厂采用混凝沉淀法处理含汞废水，投加的化学药剂为电石渣和三氯化铁，斜管长度为0.8米，直径为50毫米，倾角为60°，表面负荷为2.9米³/米²·时。从部分实际运转测定资料看，进水含汞量变化比较大，在1~8毫克/升之间，经化学混凝，斜管沉淀，除汞效率为30~80%。在模型试验时，测定了进出水浊度，经斜管沉淀，浊度从进水的60度降到出水的6度，去除率可达90%。

2. 斜管断面形状对沉淀效率的影响

在北京焦化厂活性污泥法二次沉淀池中作了四根不同断面形状的斜管试验。试验进水水质相同，斜管断面面积均为22厘米²，斜管长度均为900毫米，上升流速为5.5毫米/秒，停留时间为2.7分钟。四种断面形状分别为正六边形、圆形、正弦波形网眼和正方形（如图1-4）。试验结果如表1-11。

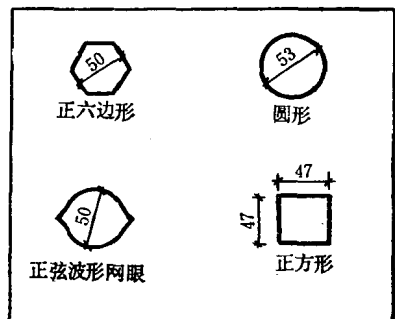


图 1-4 斜管断面形状

不同断面形状的斜管的处理效率

表 1-11

断 面 形 状	雷 诺 数 Re	出 水 浊 度 (度)	出 水 悬 浮 物 (毫克/升)
正六边形 $h=50$ 毫米	380	125	52
圆形 $d=53$ 毫米	440	129	47
正弦波形网眼 $h=50$ 毫米	375	125	52
正方形 $a=47$ 毫米	360	129	50

从表1-11可以看出：

(1) 在进水水质、斜管长度和断面面积相同的条件下，不同断面形状对处理效果影响不大。

(2) 虽然采用的斜管断面形状不同，因而雷诺数不同，但对该试验沉淀活性污泥而言，在斜管上升流速不大时（5.5毫米/秒），雷诺数对沉淀效果的影响不大。

上海东区污水处理厂对内切圆直径为5厘米的正六边形断面和5×12厘米的矩形断面两种斜管进行了单管沉淀对比试验，进水为曝气池混合液，出水悬浮物均为30~70毫克/升，正六边形斜管的上升流速可达3.7毫米/秒，矩形斜管的上升流速为3.5毫米/秒。正六边形斜管的沉淀效果稍高于矩形，但正六边形斜管加工比较困难。国外资料介绍，圆形斜管比方形斜管略为经济，但在空间利用方面，方形斜管比圆形斜管更为有效，采用斜板间分成宽高比等于2~5的矩形断面可能是一种比较合理的解决办法。

3. 斜管管径对沉淀效率的影响

在北京焦化厂，对两根不同管径（ $d=53$ 和 $d=106$ 毫米）的斜管进行了对比试验，其结果如表1-12。

从试验结果分析得出：当上升流速等于或小于5.5毫米/秒，两种不同管径斜管沉淀出水的悬浮物相差不多，而上升流速大于5.5毫米/秒时，管径小的斜管，出水悬浮物含量低，沉淀效果好。

不同斜管管径和不同上升流速的出水悬浮物

表 1-12

斜管管径 (毫米)	管 长 (毫米)	上 升 流 速 (毫米/秒)								
		5.5			6.0			7.0		
		停留时间 (分钟)	雷诺数	出水悬浮物 (毫克/升)	停留时间 (分钟)	雷诺数	出水悬浮物 (毫克/升)	停留时间 (分钟)	雷诺数	出水悬浮物 (毫克/升)
$d=53$	900	2.7	400	47	2.5	435	49.5	2.2	505	56
$d=106$	900	2.7	800	47	2.5	870	53	2.2	1010	70

目前,国内城市污水和工业废水处理试验或生产所采用的斜管管径除在印染废水中采用较小(内切圆直径 $d=25\sim 30$ 毫米)外,大部分采用 $d\geq 50$ 毫米的斜管。国外资料介绍,为避免堵塞,斜管管径不宜过小,一般采用的斜管管径(圆形管直径或正六边形断面的内切圆直径)为50毫米,若采用矩形断面,其断面高度一般为50毫米,宽度为150毫米。

4. 斜管长度及其与沉淀效率的关系

首钢焦化厂用活性污泥法处理含酚、氰废水的工程于1973年5月投产,并于1973年10月到1974年3月进行了生产性测定工作。二次沉淀池中采用了酚醛玻璃布蜂窝斜管,斜管长度为1米,内切圆直径为50毫米,倾角为 60° 。在对不同斜管长度的沉淀效率测定中,因为受生产现场废水量的限制,没有进行最大负荷试验。测定时二次沉淀池的表面负荷为 $3.06\text{米}^3/\text{米}^2\cdot\text{时}$,其结果如表1-13。

不同斜管长度的沉淀效率

表 1-13

测定日期	进水悬浮物 (毫克/升)	管长为400毫米		管长为700毫米		管长为1000毫米	
		出水悬浮物 (毫克/升)	悬浮物去除率 (%)	出水悬浮物 (毫克/升)	悬浮物去除率 (%)	出水悬浮物 (毫克/升)	悬浮物去除率 (%)
73.12.3.	2190	140	94	50	97.7	28	98.7
12.7.	2130	85	96	60	97.2	34	98.4
12.8.	2310	144	94	70	97	52	97.8
12.12.	2450	184	92.5	50	98	44	98.2
12.15.	2615	104	96	64	97.6	44	98.3
12.27.	3480	180	94.9	76	97.8	56	98.4
平 均	2530	139	94.6	61.7	97.6	43	98.3
74.1.9.	1960	134	93.2	96	95.1	76	96.1
1.14.	1530	82	94.7	42	97.3	28	98.2
1.15.	1780	92	94.9	54	97	52	97.2
2.20.	2480	162	93.4	114	94.8	50	98
平 均	1940	117	94	76.5	96.1	51.5	97.4

从测定结果可以看出:进水悬浮物在2000~2500毫克/升之间,出水悬浮物一般在50毫克/升左右,去除率在98%左右。出水悬浮物随着斜管长度的增加而减少,即斜管长度增加,悬浮物去除率增加,但大部分悬浮物在400毫米长的斜管段内即可完成沉降分离过程。从1973年实测的六次平均数据来看,进水悬浮物为2530毫克/升,经400毫米长斜管管段的分离,出水悬浮物为139毫克/升,斜管长度由400增加到700毫米,出水悬浮物由139降到61.7毫克/升,斜管长度增加到1000毫米,出水悬浮物为43毫克/升。这时,随长度增加,去除率的增加显得很缓慢,仅由97.6%提高到98.3%,但是出水悬浮物还减少得比较

多,由61.7降到43毫克/升。因此选择斜管长度时,要考虑到对污水处理出水水质的要求,当长度加大一些能使出水悬浮物降低到符合要求时,把斜管长度增大一些仍有意义。

目前,国内生产或试验用的斜管沉淀池,斜管长度一般为800~1000毫米。国外资料报导,斜管长度一般为600~1200毫米。

(三) 斜板、斜管沉淀池与普通沉淀池比较

国内采用斜板、斜管沉淀池或进行斜板、斜管沉淀试验的厂和有关单位,在生产运转和试验研究方面作了大量工作。有的在原有的平流式沉淀池或竖流式沉淀池上加设斜板、斜管后,对加设斜板、斜管前后的处理能力和沉淀效果进行了对比;有的把部分普通沉淀池改为斜板、斜管沉淀池,在生产运转中比较它们的处理能力和沉淀效果;有的在试验研究中进行了对比试验。大量试验研究结果和生产运转数据说明,同普通平流式、竖流式沉淀池相比,斜板、斜管沉淀池的处理能力可大大提高。如果在超负荷运行的沉淀池上加设斜板、斜管,就可以提高污水处理能力,有可能不需要扩建新的沉淀池。如果新建污水处理厂,采用斜板、斜管沉淀池,可以大大减少占地面积。下面介绍一些加设斜板、斜管提高处理能力的例子。

西安污水处理厂原来采用竖流式沉淀池,上升流速为0.7~1.0毫米/秒,悬浮物去除率为40~50%。斜管沉淀生产性试验结果表明,若采用上升流速为6毫米/秒,悬浮物去除率可达47.5%,同原竖流式沉淀池相比,得到同样的沉淀效果,斜管沉淀池的表面负荷为原沉淀池表面负荷的6倍。

上海北区污水处理厂试验用的活性污泥法二次沉淀池为竖流式沉淀池,原上升流速为0.3毫米/秒,在加设斜管试验中,上升流速可达1.4毫米/秒,处理能力比竖流式沉淀池提高3倍多。

北京高碑店污水处理厂斜板模型试验结果,表面负荷采用 $7.2\text{米}^3/\text{米}^2\cdot\text{时}$,斜板间距为10厘米,斜板长度为1.5米,沉淀效率可达50%。

云南印染厂加斜板的沉淀池和不加斜板的平流式沉淀池相比,斜板沉淀池表面负荷采用 $3.4\text{米}^3/\text{米}^2\cdot\text{时}$,悬浮物去除率达98.5%。平流式沉淀池的表面负荷为 $0.75\text{米}^3/\text{米}^2\cdot\text{时}$,悬浮物去除率为97%,可以看出斜板沉淀池的处理能力可比一般平流式沉淀池提高4倍左右。

北京焦化厂进行斜板、斜管沉淀试验时,同竖流式二次沉淀池的处理能力和沉淀效果进行了对比,其结果如表1-14。

斜板(管)沉淀与竖流式二次沉淀池比较

表 1-14

斜 管 类 型	进水悬浮物 (毫克/升)	斜 板 (管) 沉 淀		竖 流 式 二 次 沉 淀 池	
		表 面 负 荷 ($\text{米}^3/\text{米}^2\cdot\text{时}$)	出 水 悬 浮 物 (毫克/升)	表 面 负 荷 ($\text{米}^3/\text{米}^2\cdot\text{时}$)	出 水 悬 浮 物 (毫克/升)
$h=50$ 毫米正六边形单管	3517	23.4	55	2.52	79
$d=53$ 毫米圆形单管	3459	25.2	56	2.52	70
$h=50$ 毫米正弦波形网眼单管	3146	26.2	61	2.4	73
$a=47$ 毫米正方形单管	3366	22.3	53	2.38	69
$h=50$ 毫米、 $b=600$ 毫米波形斜板	3278	22.2	56	2.05	68
$d=106$ 毫米 圆形单管	3534	22	54	2.42	61

由表列结果可以看出,斜板、斜管沉淀与竖流式沉淀池相比,在进水水质相同时,斜板、斜管沉淀的表面负荷可比竖流式沉淀池提高8~10倍。

武汉印染厂用活性污泥法处理印染废水,原二次沉淀采用竖流式沉淀池,上升流速为0.64毫米/秒时,沉淀效果不好。在沉淀池加了斜管进行试验,上升流速达1.0~1.61毫米/秒,效果良好。这说明,加设斜管后,不但提高了沉淀效果,而且处理能力还提高1~2倍左右。

上海印绸三厂、上海针织漂染一厂的斜管沉淀池和普通沉淀池相比,处理能力可以提高2~3倍。

(四) 斜板、斜管沉淀池主要问题探讨

1. 计算方法

国内外对斜板、斜管的计算方法都在研究。目前国内一般通过试验求得设计参数,并在此基础上进行计算。国外在介绍计算方法的资料中,以特性参数公式较有参考价值。其基本假定是水流为层流,颗粒为分散颗粒,且不凝聚,从而推导出水流中颗粒沉降轨迹的一般公式。

$$\int \frac{u}{v_0} dy - \frac{v_s}{v_0} Y \sin \theta + \frac{v_s}{v_0} X \cos \theta = C_1 \quad (1-1)$$

式中 u ——水流局部流速(毫米/秒);

v_s ——颗粒沉降速度(毫米/秒);

v_0 ——水流断面平均流速(毫米/秒);

θ ——斜板、斜管的倾角(度);

$$Y = y/d, \quad X = x/d,$$

d ——斜管管径或斜板间距(毫米);

x 、 y ——以水流方向为 x ,垂直水流方向为 y 座标系统的座标值(毫米);

C ——积分常数。

由一般方程推导,并提出了“特性参数” S 的概念。

$$S = \frac{v_s}{v_0} \left(\sin \theta + \frac{l}{d} \cos \theta \right) \quad (1-2)$$

式中 l ——斜板(管)长度(毫米);

其它符号同前。

公式中包含了颗粒沉降速度、水流断面平均流速、斜板(管)长度、间距(或管径)、倾角等设计参数,虽不能完全反映斜板、斜管沉淀的真实情况,特别是用活性污泥法和化学混凝沉淀法处理污水时污泥颗粒的凝聚情况,但在斜板、斜管理论计算上有一定参考价值。

对于不同断面,“特性参数”有不同的临界值 S_c ,在斜板、斜管沉淀中,具有大于或等于临界值 S_c 的悬浮颗粒,在理论上来说都可以完全被去除。表1-15列出了斜板、斜管不同断面的特性参数临界值 S_c 。

不同断面斜板(管)的特性参数临界值

表 1-15

断	面	特性参数临界值 $S_c = \frac{v_{sc}}{v_0} \left(\sin \theta + \frac{l}{d} \cos \theta \right)$
圆	管	4/3
平	行	1
浅	层	1
方	形	11/8
正	多	4/3

公式中颗粒沉降速度可根据试验或参照同类型污水处理实践中数据选定。在处理城市污水的初次沉淀池中,若进水悬浮物为200毫克/升以上,要求达到的悬浮物沉降效率为45~55%,一般悬浮物沉降速度在0.2~0.95毫米/秒之间。活性污泥的沉降速度与活性污泥的浓度有关,污泥浓度为3~4克/升时,沉降速度为0.4~0.6毫米/秒。

根据特性参数公式计算的斜板(管)长度为颗粒沉降实际需要的长度,但污水从入流区转入到澄清区,水流有一个由紊流到层流的过渡区。过渡区长度的公式为

$$\frac{l'}{d} = 0.058 \frac{v_0 d}{\gamma} \quad (1-3)$$

式中 l' ——过渡区长度(毫米);

γ ——水的运动粘滞系数(毫米²/秒);

其它符号同前。

【例】假设污水处理厂的初次沉淀池采用圆形斜管,斜管管径 $d=50$ 毫米,斜管倾角 $\theta=60^\circ$,污泥沉降速度 $v_s=0.5$ 毫米/秒,上升流速 $v'_0=2.5$ 毫米/秒,运动粘滞系数(20℃) $\gamma=0.01$ 厘米²/秒=1毫米²/秒。

【解】计算斜管长度:

管内平均流速

$$v_0 = \frac{v'_0}{\sin 60^\circ} = \frac{2.5}{0.86} = 2.9 \text{ 毫米/秒}$$

将上述数据代入表1-15中公式:

$$\frac{v_s}{v_0} \left(\sin \theta + \frac{l}{d} \cos \theta \right) = S_c$$

$$\frac{0.5}{2.9} \left(\sin 60^\circ + \frac{l}{d} \cos 60^\circ \right) = \frac{4}{3}$$

求得

$$\frac{l}{d} = 13.7, \quad l = 13.7 \times 50 = 685 \text{ 毫米}$$

$$\frac{l'}{d} = 0.058 \times \frac{v_0 d}{\gamma} = 0.058 \times \frac{2.9 \times 50}{1} = 8.4$$

$$l' = 8.4 \times 50 = 420 \text{ 毫米}$$

斜管总长 $L = l + l' = 685 + 420 = 1105$ 毫米

采用斜管长度为1.1米。

西安污水处理厂等单位提出,污水中悬浮物不是等速沉降,而是变速沉降。并假定水流为层流;悬浮物在管中加速沉降,有凝聚性;管中水流速度分布为一曲面;水温是不变的或变化很小,可忽略不计。在上述假定的基础上推导了斜管中悬浮物沉淀的一般公式为