

城市小区雨水径流投加细砂强化混凝沉淀优化条件研究

纪桂霞, 司大伟, 陆怡诚, 王平香

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 城市小区雨水径流水质的污染主要为有机污染和悬浮固体污染,且污染物的可生化性差,采用投加混凝剂同时加细砂的强化混凝沉淀实验,确定了小区径流混凝沉淀处理最适宜的混凝剂种类、最佳的混凝反应运行条件及最优的药剂和细砂投加量。实验表明:在混凝沉淀过程中投加细砂,不仅能提高混凝沉淀效果,而且能提高沉淀速度。小区径流强化混凝沉淀的浊度去除率达 99.7%,COD 去除率达 92.6%,处理水的浊度 1.66 NTU, COD 35 mg/L 两主要指标均优于杂用水水质标准。因此,投加细料的混凝沉淀是小区雨水径流处理利用及污染控制最简便易行且有效的处理方法。

关键词: 城市小区; 雨水径流; 细砂材料; 强化混凝沉淀; 水污染

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)01-0014-05

Research on optimal condition of strengthened coagulation and sedimentation with micro-sand of runoff from urban residential area

JI Guixia, SI Dawei, LU Yicheng, WANG Pingxiang

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The main pollutants of the runoff from urban residential area are organic pollutants and suspended solids. The biodegradable ability of organic pollutants is low. The style of coagulants, the best reacting condition, the quantities of medicament and micro-sands are confirmed by the experiment of the strengthened coagulation and sedimentation with micro-sands. The experiment shows that the effect and velocity of the coagulation and sedimentation with micro-sand materials can be increased and the removal rate of turbidity is 99.7%, the removal rate of COD is 92.6%. The two main indexes turbidity 1.66 NTU, COD 35mg/L are superior than the quality standard of the miscellaneous using water. So the coagulation and sedimentation with micro-size materials is a simple, convenient and effective method of the treatment utilization and pollution control of the runoff from urban residential area.

Key words: urban residential area; runoff; micro-sand material; strengthened coagulation and sedimentation; water pollution

水环境的污染主要是由集中排放的工业废水、生活污水等点源污染和雨水径流等非点源污染引起的。迄今为止,水环境保护的重点仍旧是控制点源污染,雨水径流等面源污染问题尚未引起足够的重视。在点源污染基本得到有效控制的发达国家,雨水径流带来的非点源污染已成为水体污染的主要因素。如美国约有 60% 的河流和 50% 的湖泊污染与径流污染有关;已实现污水二级处理的城市,水体 BOD 年负荷约 40%~80% 来自雨水径流^[1-2]。美国环保局(EPA)最新的资料表明,在约 22000 个被污染水体中,城市径流和其它非农业的非点源污染被列为主导污染源的占 18% 以上^[3]。我国雨水径流引起的污染问题也

很严重。在太湖、滇池等重要湖泊,径流污染已成为水质恶化的主要原因之一^[4]。初步的保守估算,目前上海城区雨水径流污染占水体污染负荷的比例约为 10% 左右。随着上海经济的迅速发展,2010 年的排水工程和污水处理厂规划实施后,城市雨水径流污染负荷的比例仍将上升至 20% 左右。因此,城市雨水径流的污染治理及资源化利用势在必行,它将成为控制水体污染的关键。

城市雨水径流可分为街道径流和小区内的庭院径流(以后简称小区径流)。由于城市管网多为雨污合流且不易分流改造,街道径流难于单独收集处理,而小区庭院内径流的单独收集处理和利用简便

收稿日期:2012-07-13

基金项目:教育部大学生创新基金项目(J101025236)

作者简介:纪桂霞(1966-),女,山东夏津人,硕士,副教授,硕士生导师,主要从事水污染治理方面的教学与科研工作。

易行。城市小区径流水质的主要污染物为有机污染及悬浮固体污染,由于雨水的可生化性差^[5-6],不宜采用生化处理方法,多采用物化处理法,而目前的物化处理典型流程为混凝沉淀、过滤与消毒,有的甚至更繁杂。为了强化混凝沉淀处理技术,提高其处理效果,使处理流程简约化,本文通过投加细料的强化混凝沉淀技术,处理上海理工大学校园区的雨水径流,使处理水的浊度与 COD 两主要指标均达到杂用水水质标准。实现小区径流的处理工艺流程简约化及资源化利用。

1 材料与方法

1.1 试验区域概况

试验区域在上海理工大学军工路校区,位于上海市杨浦区,在中环线和黄浦江之间,毗邻复兴岛和共青森林公园。占地面积 81.47 hm²,总建筑面积 59.6 万 m²。校内主要有教学区、学生宿舍区、教职工家属区、体育运动区以及一些风景绿化区域组成。该区域雨水产流的下垫面主要是混凝土路面、屋面和绿地,由于径流水质受下垫面材料,雨强大小、降雨历时等因素影响波动较大,因此,小区雨水径流收集自路面、屋面及绿化面上产生的混合径流。选择一场中偏小降雨径流进行收集用于本次混凝沉淀试验研究,径流水质污染较重,COD 浓度为 471 mg/L,浊度为 663 NTU,pH=6。

1.2 实验材料

本实验用混凝剂与助凝剂等药品由浙江平湖龙兴化工有限公司提供,选用了公司新型的聚合物混凝剂和传统混凝剂两类,分别为聚合氯化铝、聚硫氯化铝、聚合氯化铝铁、三氯化铁和硫酸铝。助凝剂选用聚丙烯酰胺(PAM)。实验用的砂细料是由临江自来水厂提供的阿克迪砂。其规格为 90 μm,主要成分是 SiO₂。考虑超细材料具有比表面大、表面活性高、化学反应速度快、以及其独特的电性、磁性、光学性和化学活性等特性^[7-9],将细砂材料添加至径流混凝实验中,研究细砂对混凝沉淀效果的改良作用。

1.3 实验方案与测量方法

为了能确定出最适于该径流水质混凝沉淀处理的药剂种类、药剂剂量及混凝反应较好的运行条件,实验采用优化设计的 L₂₅(5⁶) 正交实验,正交实验中对混凝反应起主要作用的 6 个影响因素,分别为混凝剂的种类、混凝剂的投加量、水的 pH 值、助凝剂 PAM 的投加量与细砂投加量及混凝反应的水力条件。混凝沉淀效果的评价指标选用径流主要污染

物指标 COD 和浊度。各影响因素分别选用 5 个水平,其中水力条件的 5 个水平通过调节六联搅拌器的转速实现,5 个水力条件的编号见表 1 所示。其他影响因素的 5 个水平及实验编号见表 2 所示。该实验通过优化进行 25 个正交实验,比单因素变化的 5⁶ 个实验,实验次数不仅大大减少,而且通过正交实验及实验结果分析,能确定 6 个因素对混凝沉淀效果影响的主次关系,还可确定使混凝沉淀达到较佳效果的各影响因素的数值大小。

混凝试验及水质指标测定均用标准方法,所使用仪器有 SC956 型六联搅拌器、ST-201 型浊度仪、PHS-2C 型 pH 计、CR2200 型消解反应器和 DR/2500 分光光度计以及 FA2004 型电子分析天平等。此外还需要各种规格的玻璃烧杯、容量瓶、玻璃棒、移液管、吸耳球等。

2 结果与分析

混凝沉淀正交实验的结果以及实验结果的极差分析分别见表 2、表 3 及表 4 所示。

2.1 强化混凝沉淀反应条件的分析

对正交实验结果采用极差分析法,通过表 3 及表 4 分析结果如下:

(1)影响浊度去除效果的因素主次顺序为混凝剂种类($R = 13.88$)、混凝剂投加量($R = 11.06$)和 PAM 投加量($R = 8.02$)以及细砂投加量($R = 7.73$)、pH($R = 5.20$)和水力条件($R = 2.86$)。即混凝剂种类、混凝剂和 PAM 以及细砂的投加量是影响浊度去除效果的主要因素,pH 值和水力条件对浊度去除效果影响不大。

(2)由正交实验结果分析,初步确定了浊度去除效果较佳的混凝反应条件是:选用聚硫氯化铝药剂且投加量为 20 mg/L,PAM 和细砂投加量分别为 2 mg/L 和 20 mg/L 时,pH 为 9,水力条件编号为 4。据六联搅拌设备参数,该水力条件所对应的快速搅拌混合反应阶段的速度梯度 $G = 95\text{ s}^{-1}$,快速搅拌与慢速搅拌的凝聚反应阶段的速度梯度与时间之积的平均值 $GT = 6.4 \times 10^3$ 。

表 1 混凝实验的水力条件表					r/min, min
编号	快搅		慢搅		
	转速 r	时间 t	转速 r	时间 t	
1	270	1	60	10	
2	220	1	50	10	
3	170	1	40	10	
4	120	1	30	10	
5	100	1	20	10	

表 2 投加细砂的混凝沉淀正交实验结果

NTU, mg/L

实验序号	混凝剂种类	混凝剂投量	pH	PAM 投量	细料投量	水力条件编号	剩余浊度	剩余 COD
1	聚合氯化铝	10	5	0	0	1	17.60	112
2	聚合氯化铝	15	6	0.5	5	2	8.65	94
3	聚合氯化铝	20	7	1.0	10	3	1.42	101
4	聚合氯化铝	25	8	1.5	15	4	1.45	79
5	聚合氯化铝	30	9	2.0	20	5	1.31	76
6	聚硫氯化铝	10	6	1.0	15	5	9.10	92
7	聚硫氯化铝	15	7	1.5	20	1	1.27	50
8	聚硫氯化铝	20	8	2.0	0	2	1.23	62
9	聚硫氯化铝	25	9	0	5	3	3.81	74
10	聚硫氯化铝	30	5	0.5	10	4	8.30	81
11	聚合氯化铝铁	10	7	2.0	5	4	8.93	88
12	聚合氯化铝铁	15	8	0	10	5	6.12	88
13	聚合氯化铝铁	20	9	0.5	15	1	11.01	82
14	聚合氯化铝铁	25	5	1.0	20	2	4.84	68
15	聚合氯化铝铁	30	6	1.5	0	3	4.72	98
16	三氯化铁	10	8	0.5	20	3	10.89	102
17	三氯化铁	15	9	1.0	0	4	8.51	84
18	三氯化铁	20	5	1.5	5	5	4.05	69
19	三氯化铁	25	6	2.0	10	1	1.40	78
20	三氯化铁	30	7	0	15	2	3.23	88
21	硫酸铝	10	9	1.5	10	2	32.70	88
22	硫酸铝	15	5	2.0	15	3	17.00	89
23	硫酸铝	20	6	0	20	4	6.20	91
24	硫酸铝	25	7	0.5	0	5	31.10	104
25	硫酸铝	30	8	1.0	5	1	6.12	63

表 3 浊度为评价指标的极差分析表

mg/L

影响因素	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_1^*	K_2^*	K_3^*	K_4^*	K_5^*	R
混凝剂种类	30.43	23.71	35.62	28.08	93.12	6.09	4.74	7.12	5.62	18.62	13.88
混凝剂投量	79.22	41.55	23.91	42.60	23.68	15.84	8.31	4.78	8.52	4.74	11.06
pH 值	51.79	30.07	45.95	25.81	57.34	10.36	6.01	9.19	5.16	11.47	5.20
PAM 投量	36.96	69.95	29.99	44.19	29.87	7.39	13.99	6.00	8.84	5.97	8.02
细砂投加量	63.16	31.56	49.94	41.79	24.51	12.63	6.31	10.00	8.36	4.90	7.73
水力条件	37.40	50.65	37.84	33.40	51.68	7.48	10.13	7.57	6.68	10.34	2.86

表 4 COD 为评价指标的极差分析表

mg/L

影响因素	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_1^*	K_2^*	K_3^*	K_4^*	K_5^*	R
混凝剂种类	462	359	424	421	435	92.4	71.8	84.8	84.2	87.0	20.6
混凝剂投量	482	405	405	403	406	96.4	81.0	81.0	80.6	81.2	15.8
pH 值	419	453	431	394	404	83.8	90.6	86.2	78.8	80.8	11.8
PAM 投量	453	463	408	384	393	90.6	92.6	81.6	76.8	78.6	15.8
细砂投加量	460	388	436	430	387	92.0	77.6	87.2	86.0	77.4	14.6
水力条件	412	400	464	423	429	85.8	80.0	92.8	84.6	85.8	12.8

(3)影响 COD 去除效果的因素主次顺序分别为混凝剂种类($R = 20.6$)、混凝剂投加量($R = 15.8$)、PAM 投加量($R = 15.8$)及细砂投加量($R = 14.6$)、水力条件($R = 12.8$)和 pH 值($R = 11.8$)。即混凝剂种类、混凝剂和 PAM 投加量以及细砂投加量是影响 COD 去除效果的主要因素,且混

凝剂投加量和 PAM 投加量对 COD 去除效果影响大小相等,水力条件和 pH 值对 COD 去除效果影响不大。

(4)由正交实验结果分析,初步确定 COD 去除效果较佳的混凝反应条件是:选用聚硫氯化铝药剂且投加量为 25 mg/L,PAM 和细砂投加量分别为1.5 和 20 mg/L 时,pH 为 8,水力条件编号为 2。据六联搅拌设备参数,该水力条件所对应的快速搅拌混合反应阶段的速度梯度 $G = 236s^{-1}$,快速搅拌与慢速搅拌的凝聚反应阶段的速度梯度与时间之积的平均值 $GT = 1.5 \times 10^4$ 。

(5)实验表明,强化混凝沉淀的 6 个影响因素对浊度与 COD 的去除效果影响主次顺序及影响力大小略有不同,各自达到较佳处理效果的混凝反应条件也有些差别。即水力条件和 pH 值对浊度和 COD 去除效果影响主次顺序相反,且浊度和 COD 去除效果较佳的混凝反应条件中聚硫氯化铝和 PAM 投加量、水力条件和 pH 值均不相同。

(6)结果表明,浊度和 COD 均达到较好的处理效果的实验条件是实验 7,即选用聚硫氯化铝药剂且投加量为 15 mg/L,PAM 和细砂投加量分别为1.5 和 20mg/L 时,pH 为 7,水力条件编号为 1,此时径流处理水的浊度为 1.27 NTU, COD 为 50 mg/L 达到了杂用水质标准。

(7)投加细砂的强化混凝沉淀对浊度的最高去除率达 99.8%,处理水浊度仅为 1.23 NTU,优于杂用水标准。对 COD 去除率为 89.3%,处理水的 COD 为 50 mg/L,达到了杂用水标准。由此可见,雨水径流处理水的浊度较 COD 易于达到杂用水质标准。因此,在实际工程中应以 COD 去除效果较佳的混凝沉淀反应条件作为工程运行控制条件。

2.2 投加细砂对混凝沉淀效果的影响分析

为进一步研究细砂对混凝沉淀效果的影响,确定 COD 去除效果最好的混凝沉淀反应条件,需进行 COD 去除效果较佳混凝反应条件下的投加细砂与不投加细砂的混凝沉淀对比实验。

2.2.1 不投加细砂的混凝沉淀实验 在 COD 去除效果较佳混凝反应条件下,即 PAM 投加量为 1.5 mg/L,pH 为 8,水力条件编号为 2 时,不投加细砂时,进行聚硫氯化铝最佳投加量实验,实验结果见图 1。

由图 1 分析可知:

(1)不投加细砂时,当聚硫氯化铝投加量为 25 mg/L,雨水径流水质的浊度及 COD 去除效果最好,分别达到 99.7% 和 90%,处理水浊度为 2.19 NTU、

COD 为 47 mg/L。当投药量小于或大于 25 mg/L 时,都不能达到好的混凝沉淀效果。这是由于药剂投加量少时,不能使水中更多的无机及有机胶体颗粒脱稳沉淀。当药剂投加量大时,水中脱稳的无机及有机胶体颗粒又会出现再稳悬浮现象,也不能达到好的混凝沉淀效果。因此,实验用小区雨水径流(COD 为 471 mg/L,浊度为 663 NTU)混凝沉淀所需的聚硫氯化铝的最佳投加量为 25 mg/L。

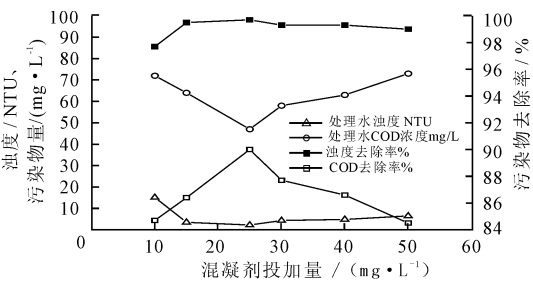


图 1 混凝剂投量与处理水浊度、COD 关系线

(2)与投加细砂的正交试验 7 的结果比较,不投加细砂时,要使处理水达杂用水标准,所需要投加的聚硫氯化铝量为 25 mg/L。在投加细砂量为 20 mg/L,聚硫氯化铝投量为 15 mg/L 时,处理水质就能达标。因此,投加细砂,可减少混凝剂的投加量 10 mg/L,能节省药剂费用和运行成本。

2.2.2 投加细砂的混凝沉淀实验 在聚硫氯化铝投量为 25 mg/L,PAM 投加量为 1.5 mg/L,pH 为 8,水力条件编号为 2 时,进行最佳细砂投加量实验,实验结果见图 2 所示。

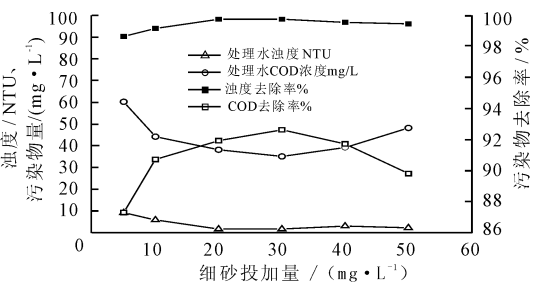


图 2 细砂投量与处理水浊度、COD 关系线

由图 1 及图 2 结果分析表明:

(1)当细砂投加量为 30 mg/L 时,在聚硫氯化铝投量为 25 mg/L,PAM 投加量为 1.5 mg/L,pH 为 8,水力条件编号为 2 时,处理水浊度为 1.66 NTU < 2.19 NTU,去除率为 99.7%、COD 为 35mg/L < 47 mg/L,去除率为 92.6%,与不投加细砂相比,浊度及 COD 的去除效果均有明显提高,且投加细砂对提高 COD 去除效果较浊度更为显著。这是由于细砂的吸附作用在提高颗粒凝聚性能的同时,其对大分子

有机颗粒 COD 有一定的吸附去除作用,从而提高了水处理效果。在径流处理水 COD 较浊度难达标情况下,投加细砂的强化混凝沉淀更适于城市径流的处理利用。

(2) 实验现象观察表明,投加细砂的混凝沉淀,絮凝体沉淀速度明显快于不投加细砂的絮凝体沉淀速度。这是由于细砂的投加,增加了絮凝颗粒的相对密度,加快了颗粒的沉淀速度。因此,投加细砂强化混凝沉淀可减小沉淀池的容积,节省工程费用。

(3) 细砂投加量为 30 mg/L,雨水径流水质的浊度及 COD 去除效果最好。当投加量小于或大于 30 mg/L 时,都不能达到最好的混凝沉淀效果,这表明细砂的投加量也存在一最佳值,本实验最佳投量为 30 mg/L。

3 结论与讨论

通过城市小区径流投加细砂的强化混凝沉淀实验研究得到如下结论:

(1) 投加细砂可提高小区雨水径流的混凝沉淀处理效果,且细砂投加量也存在一最佳值 30 mg/L,少于或大于最佳投砂量均不能取得最优的水处理效果。

(2) 投加细砂可提高小区雨水径流的浊度及 COD 的混凝沉淀处理效果。且投加细砂对提高 COD 去效果较浊度更为显著。在径流处理水浊度易达标而 COD 难达标情况下,投加细砂的强化混凝沉淀技术方法更适于城市径流的处理利用。

(3) 投加细砂,可减少混凝剂的投加量 10 mg/L,从而节省药剂费用和运行成本。

(4) 投加细砂可明显增大絮凝颗粒的沉淀速度,提高混凝沉淀效果,相应减小了沉淀池容积,能节省工程费用。

(5) 投加细砂强化混凝沉淀处理上海理工大学校园雨水径流达杂用水标准的混凝反应条件是:聚硫酸铝混凝剂投加量为 15 mg/L,助凝剂 PAM 投加量为 1.5 mg/L,细砂投加量为 20 mg/L, pH 为 7,加药及细砂时的混合反应快速搅拌阶段的速度梯度为 $G = 320\text{s}^{-1}$,快速搅拌与慢速搅拌的凝聚反应阶段的速度梯度与时间之积的平均值 $GT = 2.0 \times 10^4$ 。在此条件下,处理水的浊度为 1.27 NTU, COD 为 50 mg/L 均达到杂用水质标准(浊度 ≤ 5 NTU,

COD ≤ 50 mg/L)。

(6) 投加细砂强化混凝沉淀的最佳运行条件是:当细砂投加量为 30 mg/L 时,聚硫酸铝投量为 25 mg/L, PAM 投加量为 1.5 mg/L, pH 为 8,水力条件编号为 2 时,处理水浊度为 1.66 NTU、COD 为 35 mg/L,处理水质优于杂用水质标准。

处理小区径流,能使处理水的浊度及 COD 两主要指标达到杂用水质标准,可省去目前径流物化处理典型工艺中的过滤工艺,从而简化目前繁杂的径流物化处理工艺流程,使径流处理工程设计与实施简便易行。

本文结合小区径流水质的有机污染及悬浮固体污染重,以及污染物可生化性差等特点,采用投加细料强化混凝沉淀处理雨水径流,这一技术方法简便有效,便于实际工程推广应用。该研究成果为改善目前繁杂的雨水物化处理利用技术与工艺奠定了理论基础,也为雨水资源的利用及水环境的污染治理打下了坚实基础。

参考文献:

- [1] Dikshit A K, Loucks D P. Estimation non point pollutant loadings in a geographical-information-based non point source simulation Model[J]. Journal of Environmental Systems, 1996, 24(4): 395-408.
- [2] US EPA. National water quality inventory[M]. Report to Congress Executive Summary, EPA, Washington DC, US EPA, 1995.
- [3] Marshall Taylor, Jaime Henkels. Storm water best management practices: Preparing for the next decade[J]. Storm Water, 2001, 2(7): 1-11.
- [4] 金相灿,等. 中国湖泊环境[M]. 北京:海洋出版社, 1995.
- [5] 邓风,陈卫,孙文全. 城市雨水的物化处理技术[J]. 中国给水排水, 2003, 19(10): 96-97.
- [6] 李贺,李田,于学珍. 上海市屋面雨水回用处理技术研究[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(3): 97-98.
- [7] 鲁安怀. 环境矿物材料基本性能——无机界矿物天然自净化功能[J]. 岩石矿物学, 2001, 20(4): 371-381.
- [8] 房永广,梁志诚,彭会清. 超细粉体材料的制备技术现状及应用形势[J]. 化工矿物与加工, 2005(3): 34-37.
- [9] 王强,李海燕,郑萍,等. 纳米材料在环境保护中的应用进展[J]. 云南化工, 2002, 29(6): 30-33.