



超磁分离工艺在白洋淀生态清淤 三期工程中的应用

张西江

(中交天航环保工程有限公司, 天津 300461)

摘要: 作为一项新兴水处理技术, 超磁分离水体净化技术近年来在国内外发展迅速, 目前正在开展广泛研究和工程应用。本文以白洋淀生态清淤三期工程为实例, 针对项目需处理水量大、周期短、占地有限等工程难点问题, 对该项技术特点及工艺流程等进行了重点论述, 得出超磁分离水体净化技术在污染水处理中的应用效果, 研究成果可为类似工程污染水处理提供经验及借鉴。

关键词: 超磁分离; 污染水处理; 环境保护

中图分类号: X 52; U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)S2-0059-05

Application of super-magnetic separation technology in ecological desilting project (phase III) in Lake Baiyangdian

ZHANG Xi-jiang

(CCCC-TDC Environmental Engineering Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

Abstract: As a new water treatment technology, the super-magnetic separation and water purification technology has developed rapidly worldwide in recent years, and it is widely studied and applied in engineering. Taking the third phase of the ecological desilting project in Lake Baiyangdian as an example, this study focuses on expounding on the technical characteristics and process flow of the super-magnetic separation and water purification technology considering the engineering problems such as the massive volume of water to be treated, a short cycle, and limited land occupation. In addition, the application effect of the technology in the treatment of polluted water is obtained. The research results can provide experience and references for the treatment of polluted water in similar projects.

Keywords: super-magnetic separation; polluted water treatment; environmental protection

1 工程概况

“华北明珠”白洋淀位于河北省中部、保定市东部 45 km 处, 以淀区周边 238 km 的长堤为边界, 淀区总面积约 366 km²。白洋淀流域属于大清河水系的一部分, 主要依靠大清河水系各支流汇入。白洋淀生态清淤三期工程是按照《白洋淀生态环境治理和保护规划(2018—2035)》和《白洋淀

生态环境综合治理方案(2020—2022年)》中对白洋淀生态环境治理和保护的目标任务及时间节点要求, 遵循《2021白洋淀生态清淤三期工程实施方案》原则和要求, 以集中水塘治理为优先, 重点解决片区内重、中度污染鱼塘和重污染水道, 优化淀泊水动力过程, 支撑南刘庄、光淀张庄、鸽丁淀、端村等重点区域水质改善, 为淀泊生态

收稿日期: 2022-02-10

作者简介: 张西江(1987—), 男, 工程师, 从事水利工程、市政工程研究。

完整性恢复提供本底条件，系统治理路线见图1。

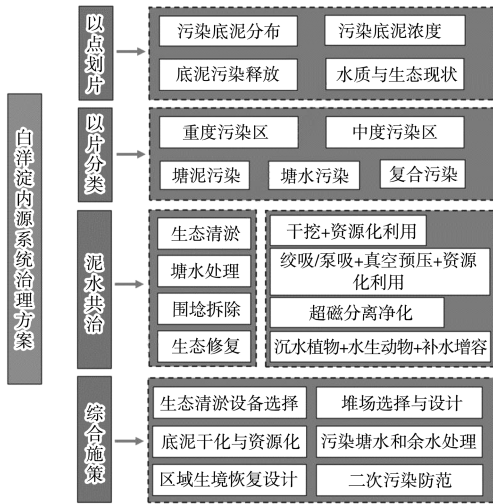


图1 白洋淀生态清淤系统治理路线

项目选择鱼塘、开阔水面、水道3类水域开展治理，主要包括底泥生态清淤、塘水及余水处理、堤埝拆除等内容：1) 鱼塘治理工程：治理鱼塘226个，总面积12.73 km²，清淤量283.86万 m³；2) 开阔水面治理工程：治理开阔水面14片，总面积1.08 km²，清淤量22.40万 m³；3) 水道治理工程：治理水道62个，总面积1.14 km²，清淤量32.20万 m³；4) 堤埝拆除工程：拆除鱼塘堤埝165.15 km，处置土方共计125.38万 m³，芦苇清除量71.55万 m³；5) 处理水量1 784.66万 m³。

2 淀区水质污染现状

2.1 污染物来源

按照进入淀区方式不同，淀区污染源主要分为内源及外源2大类。内源指淀区底泥释放的污染物；外源包括淀区周边居民生活、旅游、养殖、种植等排入淀区的污染物。白洋淀内分布了39个水村、134个淀边村，其生活污水直排入淀和垃圾沿淀边堆放现象十分普遍，其入淀化学需氧量(COD)占总入淀负荷的20%左右。近年来，白洋淀及上游地区已采取污水处理厂升级改造、严格

控制点源排放等多种措施，同时开展白洋淀生态清淤治理工程，清除淀底沉积物，最大限度减少沉积物的内源释放对白洋淀水质的影响。

2.2 治理区域水质情况

淀区施工前水质监测数据显示，297个检测点位中，以Ⅱ类和Ⅳ类水质为主，占72.4%；其余点位Ⅰ类占10.4%，Ⅴ类占11.4%，劣Ⅴ类占5.7%。水体COD平均浓度为21.1 mg/L，最大浓度为75 mg/L；氨氮(NH₃-N)平均浓度为0.134 mg/L，最大浓度为0.634 mg/L；总磷(TP)平均浓度为0.14 mg/L，最大浓度为0.27 mg/L。

3 工艺选择及技术流程

3.1 工艺选择

目前常用污水处理工艺有：水生生物群落构建、超磁分离、离子气浮、膜生物反应器、膜曝气生物膜反应器等处理技术。本项目在施工过程中需处理鱼塘水及疏浚余水工程量巨大，且施工周期较短，同时结合内源污染试点及扩大试点项目经验，根据《白洋淀生态清淤扩大试点项目效果评估报告》，塘水经过超磁设备处理后，主要污染物去除率均较高，其中TP去除率达77%以上、COD去除率达46%以上，NH₃-N去除率达27%以上，出水基本达到Ⅳ类水质标准，其中80%的水经过超磁处理后基本达到Ⅱ类水质标准。本项目余水和塘水采用“超磁分离水体净化+淀外资源化利用”方案进行治理，共设置5个超磁站，见图2。每个超磁站水处理量及处理规模见表1。

表1 超磁处理站水处理量及处理规模

超磁站编号	塘水水量/ 万 m ³	余水水量/ 万 m ³	总处理水量/ 万 m ³	超磁设备处理 规模/万 m ³
1 [#]	33.35	-	33.35	2
2 [#]	13.98	-	13.98	1
3 [#]	-	247.40	247.40	3
4 [#]	354.87	493.30	848.17	10
5 [#]	420.44	220.70	641.14	8
合计	822.64	961.40	1 784.04	24



图 2 超磁处理站布置

3.2 工艺参数

该项目共设置 5 处超磁处理站，现以 5# 超磁站为例进行工艺参数介绍，其主要设备工艺参数见表 2。

表 2 5# 超磁站主要设备工艺参数

主要设备或构筑物名称	型号及规格	数量
混合搅拌设备	YX3-100L24	5
一级反应搅拌	YE3-90L-4	5
二级反应搅拌	YX3-90L-4	5
三级反应搅拌	YE3-90S-5	3
超磁分离机	ASMD-20000	5
磁分离磁鼓机	YX3-80M1-4	5
清水泵	YE2-80M2-2	5
软管泵	YE2-80M2-4L160	10
污泥脱水机	CZDL352	3
溶液制备装置	JY1000CZPAM	8

3.3 工艺流程

水处理工艺的选择应根据进出水水质要求、处理规模、当地气温等因素综合考虑，根据本项目的水质特点，主要去除污染物为 COD、NH₃-N 和 TP^[1]，先添加混凝剂聚合氯化铝(PAC)和助凝剂聚丙烯酰胺(PAM)去除特定污染物，并采用超磁分离工艺实现污染物的快速清除。经超磁分离机分离出来的磁性污泥进入到磁分离磁鼓进行磁种与污泥的分离，分离出的磁种再次投加到混凝系统中进行絮凝反应，使磁种达到循环利用的目的，具体工艺流程见图 3。

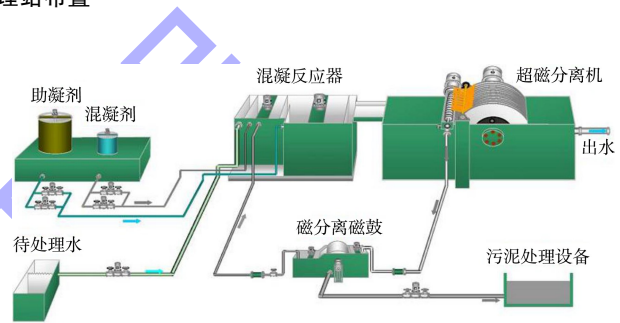


图 3 工艺流程

3.4 工艺原理

超磁分离水体净化技术是通过磁粉、混凝剂以及水中污染物质的微磁聚凝作用，将污染物质与磁粉凝聚成磁性絮体，再通过超磁分离设备产生的强磁场力的作用下，使微絮凝体克服流体的阻力和自身的重力快速定向运动，吸附在磁盘的表面，然后利用刮板机将吸附的絮团刮离磁盘，之后形成卸渣带，由刮渣刨轮刮入螺旋输送机，产生的废渣输入污泥池，被刮去絮团的磁盘又重新转入水体，形成周而复始的超磁分离净化水体的过程^[2]。

4 工艺运行情况

4.1 水质标准

污染塘水及余水通过超磁设备处理后，主要水质指标达到地表水环境质量Ⅳ类水质标准，即 COD、NH₃-N 和 TP 浓度指标分别为 30、1.5 和 0.1 mg/L。

治理区现状水质 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均浓度为 0.134 mg/L, 最大浓度为 0.634 mg/L, 均小于 1.5 mg/L, 故重点检测进水 COD 和 TP 指标, 进水水质指标数值见表 3。

表 3 进水水质指标数值

鱼塘编号	COD/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TP/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
YT149	46	0.26
YT148	34	0.07
YT165	38	0.07
YT169	35	0.05
YT172	31	0.07
YT173	37	0.14
YT207	31	0.05
YT214	34	0.05
YT215	47	0.05

4.2 布置形式

根据施工组织计划, 5#超磁处理站最大日处理水量为 8.0 万 m^3 , 设计处理规模 8.0 万 m^3/d 。

1) 调节池调节塘水的水量及水质, 保障超磁一体化设备进水的水量及水质, 利于设备的稳定运行。利用现有坑塘作为调节池, 在其底部铺设复合土工膜, 以防止污水下渗污染。

2) 超磁设备设置 4 套 2.0 万 m^3/d 的超磁一体化设备, 每套设备包括混凝集装箱 1 台、超磁集装箱 1 台、加药集装箱 1 台、脱水集装箱 1 台及

其他相关配套设施。每台集装箱铺设 10 cm 厚石屑设备基础。

3) 清水池承接通过超磁设备处理后的出水, 出水达标时排放至排碱沟, 不达标时回流至调节池, 进一步处理直至达标后排放至排碱沟。按 1 h 调节量计算, 设计清水池容积 3 500 m^3 。清水池采用半挖半填的形式, 并铺设复合土工膜, 平面布置见图 4。

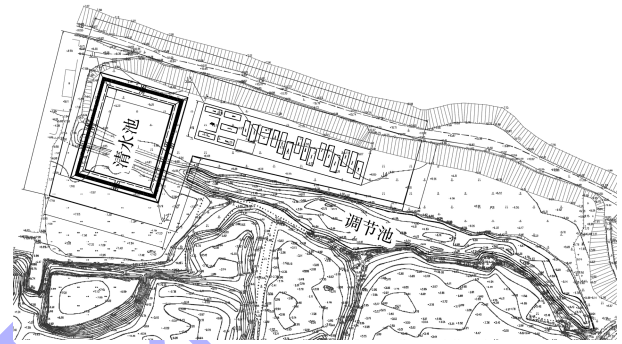


图 4 5#超磁站平面布置

4.3 水质处理效果分析

超磁进水全部来源于已修建的调节池, 污染鱼塘塘水及清淤产生的余水均抽排至调节池进行混合, 因此调节池水质指标一直处于波动状态, 为保证出水水质满足要求, 采取试运行的方式进行药剂量调整, 并利用统计学进行分析确定。试运行效果统计见表 4。

表 4 超磁站处理情况统计

日期	水处理量/ m^3	PAC/($\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$)	PAM/($\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$)	磁粉/($\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$)	COD/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TP/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_3\text{-N}$ /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	水质类别
2022-01-12	32 782	160.15	6.10	54.91	12.00	0.04	0.37	III
2022-01-13	23 711	189.79	3.16	21.09	8.99	0.06	0.46	IV
2022-01-14	33 403	134.72	2.99	29.94	9.06	0.03	0.45	II
2022-01-15	141 809	37.02	1.41	2.82	8.14	0.02	0.49	II
2022-01-16	97 720	53.72	0.77	8.19	8.95	0.04	0.61	III
2022-01-17	44 227	118.71	2.26	18.09	9.45	0.03	0.86	III
2022-01-18	42 689	122.98	2.34	18.74	10.72	0.04	1.03	IV
2022-01-19	91 370	57.46	1.09	4.38	12.24	0.04	1.14	IV
2022-01-20	130 935	51.55	1.53	6.11	9.41	0.04	0.91	III
2022-01-21	125 445	59.79	1.00	7.97	8.28	0.04	0.48	III
2022-01-22	152 841	73.61	1.64	6.54	8.51	0.04	0.52	III
2022-01-23	124 872	90.09	2.00	8.01	8.56	0.05	0.52	IV
2022-01-24	137 112	82.05	1.82	7.29	8.51	0.06	0.53	IV
2022-01-25	120 007	93.74	2.08	8.33	8.67	0.06	0.52	IV
2022-01-26	130 119	57.64	0.96	3.84	8.65	0.05	0.54	IV
2022-01-27	145 055	62.05	1.72	6.89	10.02	0.05	0.51	IV

续表4

日期	水处理量/m ³	PAC/(g·t ⁻¹)	PAM/(g·t ⁻¹)	磁粉/(g·t ⁻¹)	COD/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	水质类别
2022-01-28	108 534	103.65	2.30	9.21	10.26	0.05	0.53	IV
2022-01-29	95 136	110.37	2.10	10.51	10.25	0.04	0.53	III
2022-01-30	102 954	87.42	1.21	9.71	10.30	0.06	0.55	IV
2022-01-31	53 521	196.18	3.27	18.68	10.17	0.05	0.52	IV
2022-02-01	101 839	73.65	1.23	9.82	10.05	0.05	0.53	IV
2022-02-02	108 141	104.03	1.62	9.25	10.24	0.04	0.53	III
2022-02-03	121 554	92.55	2.06	8.23	10.25	0.04	0.54	III
2022-02-04	97 021	123.68	2.58	10.31	10.36	0.04	0.54	III
2022-02-05	121 565	92.54	1.65	8.23	10.09	0.05	0.53	IV
2022-02-06	107 346	111.79	2.33	9.32	10.16	0.04	0.54	III
2022-02-07	116 735	96.37	1.50	8.57	10.27	0.04	0.54	III
2022-02-08	64 112	175.47	3.12	15.60	10.33	0.05	0.54	IV
2022-02-09	60 276	136.87	2.07	16.59	10.45	0.05	0.54	IV
2022-02-10	67 642	166.32	2.59	14.78	10.68	0.04	0.55	III
2022-02-11	49 309	228.15	4.06	20.28	10.90	0.04	0.56	III
2022-02-12	37 954	237.13	3.95	15.81	10.63	0.05	0.56	IV
2022-02-13	50 264	119.37	1.99	15.92	10.03	0.04	0.56	III
2022-02-14	58 273	154.45	2.57	17.16	9.82	0.04	0.53	III
2022-02-15	60 203	174.41	2.08	16.61	9.84	0.05	0.54	IV
2022-02-16	36 001	249.99	3.47	22.22	9.82	0.04	0.54	III

根据超磁站近 1 个月的运行数据并利用统计学进行分析, 可得出处理 1m³ 污水所需药剂添加量的平均控制值, PAC 为 118.87 g/m³, PAM 为 2.24 g/m³, 磁粉为 13.33 g/m³。

根据运行数据可得出, 塘水经过超磁设备处理后, COD、TP 去除率均较高, 其中 TP 去除率达 60% 以上、COD 去除率达 73% 以上, 出水水质基本达到 IV 类水质标准, 其中 80% 达到 II 类水质标准, 见表 5。

表 5 运行效果分析

项目	进水/(mg·L ⁻¹)	出水/(mg·L ⁻¹)	去除率/%
COD	31.00~47.00	8.10~12.00	73~74
TP	0.05~0.26	0.02~0.06	60~76

4.4 运行技术优势

1) 分离效率高, 磁分离技术采用稀土磁钢, 其表面产生磁力是重力的 640 倍以上^[3], 分离时间仅为 4~6 min, 是加砂高速沉淀及高密度沉淀等水力停留时间的 1/20~1/10。

2) 结构紧凑, 占地面积小, 仅为常规工艺的 1/8~1/6。

3) 运行效率高, 净化时间短, 磁种循环利用

效率高。

4) 集成化程度高, 形式灵活, 运行操作简便, 自动化程度高, 磁种回收率可达 98%。

5) 污泥浓度高, 可直接脱水, 无需浓缩。

5 结语

1) 本工程需处理水量大且工期紧, 应用超磁处理技术取得了良好的效果, 可有效满足工期及出水水质要求, 且在压缩工期的条件下可快速实现添加设备组满足工程需求。

2) 超磁设备和工艺可以装置化、灵活性强、占地小, 可设置为流动式处理车间, 如流动处理设备、活动板房等, 根据需求放至指定地点或建固定厂房等。处理能力为 8 万 m³/d 的超磁混凝污水处理设施+调节池+清水池占地仅约 1 万 m², 是一般同等规模污水处理工艺用地的 50% 左右^[4]。

3) 超磁分离水体净化工艺具有高效、节能、安全的工艺特性, 在水处理中具有广阔的应用前景。处理出水可作为洗车用水、园林绿化用水、道路喷洒、黄泥灌浆、职工公寓及办公楼生活用水^[5]。

(下转第 107 页)



3种絮凝剂对河道底泥絮凝效果 及板框压滤的研究

刘宏, 马悦, 张慧丽

(中交天航环保工程有限公司, 天津 300461)

摘要: 针对官渡区海河疏浚底泥深度脱水难度大的问题, 进行了絮凝浓缩结合板框压滤的试验研究, 分别采用阴离子聚丙烯酰胺(分子量1500)、阳离子聚丙烯酰胺(分子量800)和非离子聚丙烯酰胺(分子量900)3种絮凝剂进行絮凝浓缩处理, 再将筛选出的2种浓缩泥浆分别利用隔膜式板框压滤机进行压滤试验, 采用KD20板作为填充泥浆腔室(厚度为200 mm), 持续进料10 min, 挤压压力0.8 MPa, 根据板框压滤结果筛选出最优的一种絮凝剂。试验结果表明, 对于有机物含量较高的疏浚底泥, 分子量为1500万、水解度为14%的CPAM絮凝效果和浓缩后泥浆板框压滤脱水效果和出水水质较好, 隔膜板框压滤挤压时间30 min, 泥饼含水率可降至40%以下。

关键词: 河道底泥; 絮凝; 脱水减容; 隔膜式板框压滤

中图分类号: X 52; U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)S2-0064-05

Flocculation effect of three flocculants of river sediment and plate-and-frame filtration

LIU Hong, MA Yue, ZHANG Hui-li

(CCCC-TDC Environmental Engineering Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

Abstract: Considering the difficulty in deep dewatering of dredged sediment in Haihe River in Guandu District, we carry out experiments on flocculation concentration combined with plate-and-frame filtration. Specifically, three flocculants, namely, anionic polyacrylamide (APAM, with a molecular weight of 1500), cationic polyacrylamide (CPAM, with a molecular weight of 800), and non-ionic polyacrylamide (NPAM, with a molecular weight of 900), are used for flocculation concentration. Then, we perform pressure filtration tests on the two kinds of selected concentrated slurry separately by a diaphragm plate-and-frame filter press. Next, we use the KD20 plates to fill the slurry chamber (with a thickness of 200 mm), with continuous feeding of 10 min at the extrusion pressure of 0.8 MPa. Finally, the optimal flocculant is selected according to the plate-and-frame filtration results. The test results reveal that for the dredged sediment with a high organic content, CPAM with a molecular weight of 15 million and a degree of hydrolysis of 14% has a better flocculation effect, and upon concentration, the dewatering effect and effluent quality of the plate-and-frame filtration of slurry are better. The pressure time is 30 min, and the water content of the mud cake can be reduced to below 40%.

Keywords: river sediment; flocculation; dewatering and volume reduction; diaphragm plate-and-frame filtration

随着我国经济的发展, 黑臭水体问题日益突出, 国家对环保要求不断提高, 河道底泥处理问

题已迫在眉睫, 底泥疏浚是彻底解决黑臭水体的重要方法, 而底泥脱水问题是制约该工艺至关重

收稿日期: 2022-02-10

作者简介: 刘宏(1989—), 男, 工程师, 从事环保及水环境治理技术研究。