

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqfh.250996

污水处理厂高浓度进水冲击分析及应对策略

洗巍

(上海市排水管理事务中心,上海市 200001)

摘要: 以上海市12座典型污水处理厂为研究对象,基于其2021—2025年的长期进出水水质监测数据,采用数理统计与累计频率分析法,系统研究了高浓度进水冲击的时空特征、污染物指标规律及其对出水稳定性的影响。研究表明,进水冲击在部分厂区呈现常态化,主要表现为COD、NH₃-N、TN的瞬时超高浓度,其中氨氮冲击对出水达标构成的威胁最大。研究发现,工业废水纳管比例与冲击风险无必然关联,这一发现将冲击源的调查范围从“工业源”扩展至整个“收集系统”,如管网沉积物厌氧释放、雨污混接、地下水入渗,以及未纳入监管的散乱污企业偷排等。基于研究结果,构建了涵盖“源头预警—过程调控—末端应急—工程兜底”的全过程系统性应对策略框架,并提出针对性的管理建议,以提升特大型城市污水处理系统的整体韧性与稳定达标保障能力。

关键词: 污水处理厂;长期监测;进水冲击;水质特征;累计频率分析;应对策略

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)04-0068-07

Analysis and Coping Strategies for High-Concentration Influent Shock in Wastewater Treatment Plants

XIAN Wei

(Shanghai Municipal Drainage Management Affairs Center, Shanghai 200001, China)

Abstract: Taking 12 typical wastewater treatment plants in Shanghai as the research object, this study systematically analyzes the spatiotemporal characteristics of high-concentration influent shock, pollutant indicator patterns, and their impact on effluent stability. The analysis is based on long-term influent and effluent water quality monitoring data from 2021 to 2025, using mathematical statistics and cumulative frequency analysis. The research indicates that influent shock has become a regular occurrence in some plants, primarily characterized by instantaneous ultra-high concentrations of COD, NH₃-N, and TN. Among these, ammonia nitrogen shock poses the greatest threat to effluent compliance. The analysis reveals that the proportion of industrial wastewater discharged into the sewer system is not necessarily correlated with shock risk. This finding expands the scope of shock source investigation from "industrial sources" to the entire "collection system," including factors such as anaerobic release from sediment in sewer networks, stormwater and sewage cross-connections, groundwater infiltration, and unauthorized discharges from unregulated scattered pollution sources. Based on the findings, a comprehensive systematic coping strategy framework is constructed, covering "source warning - process regulation - endpoint emergency response - engineering safeguards." Targeted management recommendations are proposed to enhance the overall resilience and stable compliance assurance capability of megacity wastewater treatment systems.

Keywords: wastewater treatment plants; long-term monitoring; influent shock; water quality characteristics; cumulative frequency analysis; coping strategies

0 引言

随着我国城市化进程的不断深化,城市污水处

理系统的稳定运行已成为水环境安全的基石。然而污水处理量持续增长,污水来源日趋复杂,污水处理厂进水水质波动日益频繁。特别是高浓度工业废水或异常水质的瞬时冲击,对生化处理系统构成严重威胁,导致活性污泥中毒、硝化系统瘫痪、出水超标等一系列问题^[1-2]。上海市作为特大型城市,污水处理系统规模大、服务范围广、纳管水源复杂,其面临

收稿日期: 2025-10-23

基金项目: 上海市政总院科研项目“高浓度进水冲击问题分析评估项目”(K2025K027B)

作者简介: 洗巍(1976—),女,硕士,高级工程师,从事污水处理设施相关的规划、建设和运行监督管理工作。

的冲击压力尤为突出。2024 年中央环保督察亦指出,上海市部分污水处理厂因高浓度进水冲击,导致污水处理设施运行受到严重影响,出水多次超标,给水环境安全带来严重威胁。目前,国内外研究多集中于单一工艺的耐冲击负荷优化或特定案例分析^[3-4],缺乏对区域范围内多厂站、长序列数据的系统性对比研究,从而难以形成普适性的区域防控管理策略。本文以上海市 12 座典型污水处理厂为研究对象,通过分析其长达 4.5 年的日常监测数据,旨在:(1)量化说明进水冲击的宏观特征与规律;(2)识别不同厂区的冲击指标与风险等级;(3)在此基础上,构建一套适用于特大型城市的、系统性的进水冲击应对策略体系,以期为上海及其他类似城市的污水厂精准管控与稳定运行提供决策依据和实践参考。

1 研究与方法

1.1 受进水冲击污水厂调研

截至 2024 年底,上海市已建城镇污水处理厂共 43 座,总处理能力为 1 070.75 万 m³/d。其中 40 座污水厂有工业废水排入,5 座工业废水占比超 30%。根据调研,上海市存在进水冲击的污水处理厂共计 12 座,具体名单如表 1 所示。

由表 1 可知,12 座污水厂中均有工业废水占比,其中工业废水占比超 30% 的污水厂有 3 座,工业废水占比 10%~30% 之间的污水厂有 4 座,工业废水占比小于 10% 的污水厂有 5 座。说明工业废水对受冲

表 1 存在进水冲击的污水厂一览表

序号	污水厂名称	进水超标因子	设计工业废水比例	实际运行中工业废水占比	备注
1	A	TN、NH ₃ -N	60%	35.80%	
2	B	NH ₃ -N、TN、COD、TP	20%	6.80%	
3	C	TN、NH ₃ -N	18%	34.70%	
4	D	TN、NH ₃ -N、TP	50%	7.80%	
5	E	TP、NH ₃ -N	10%	1.00%	
6	F	TN	5%	0.30%	
7	G	COD	未提及	1.10%	设有 5 万 m ³ 调蓄池
8	H	COD、NH ₃ -N、TP	18%	16.50%	设有综合池
9	I	COD、SS	39.80%	23.60%	设有调节池
10	J	COD、SS	30%	16.60%	
11	K	TN、NH ₃ -N	50%	33.10%	
12	L	TP	未提及	13.50%	

击情况影响较大,但仅有 30% 有工业废水排入的污水厂存在进水冲击。由此可见,工业废水占比与受冲击情况无必然联系。

本次调研上述 12 座污水厂,设计总规模达 170 万 m³/d,主体工艺均采用 A²/O 及其改良型(如倒置 A²/O、MSBR 等),深度处理工艺涵盖高效沉淀、深床过滤、膜处理等,代表了上海市主流的污水处理技术路线。各厂设计出水水质全部执行国家《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 及以上排放标准(以下简称一级 A 及以上),处理工艺及进出水水质详见表 2 至表 4 所示。

表 2 污水处理厂处理工艺一览表

序号	污水处理厂名称	设计规模/(万 m ³ ·d ⁻¹)	处理工艺			排放标准
			主体工艺	深度处理工艺	消毒工艺	
1	A	14	MSBR	高效沉淀池+深床滤池	次氯酸钠消毒	一级 A 以上
2	B	20	倒置 A ² /O	高效沉淀池+反硝化深床滤池	次氯酸钠消毒	一级 A 以上
3	C	19.5	倒置 A ² /O	滤布滤池	次氯酸钠消毒	一级 A 以上
4	D	5.1	A ² /O	高效沉淀池+反硝化深床滤池	次氯酸钠消毒	一级 A 以上
5	E	5.5	A ² /O	气浮+超滤	紫外和次氯酸钠消毒	一级 A 以上
6	F	3.5	A ² /O	超滤+膜过滤	次氯酸钠消毒	一级 A 以上
7	G	20	改良型多级 A ² /O	高效沉淀池+反硝化深床滤池	紫外和次氯酸钠消毒	一级 A 以上
8	H	30	A ² /O	高效沉淀+反硝化深床滤池	次氯酸钠消毒	一级 A
9	I	30	A ² /O	高效沉淀池+高效纤维滤池	次氯酸钠消毒	一级 A
10	J	2.8	A ² /O	高效沉淀池+D 型滤池	紫外和次氯酸钠消毒	一级 A
11	K	2	A ² /O+MBR	—	次氯酸钠消毒	一级 A
12	L	17.5	倒置 A ² /O	曝气生物滤池+V 型滤池	紫外和次氯酸钠消毒	一级 A 以上

1.2 数据来源与研究方法

研究数据来源于各污水处理厂 2021 年 1 月—2025 年 6 月日常监测记录、在线仪表监测数据及应

急事件报告等,分析指标包括进出水水量、COD、NH₃-N、TN、TP 等。采用数理统计方法,计算各指标平均值、最大值、最小值,以表征水质基本状况与波

表3 设计进水水质表						单位:mg/L
污水厂名称	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
A	450	220	300	35	50	6.0
B	400	180	250	25	40	4.5
C	350	150	250	30	40	4.5
D	460	200	300	25	40	6.0
E	430	150	200	30	40	4.0
F	400	180	180	30	40	5.5
G	380	180	180	40	50	5.0
H	500	230	200	40	55	8.0
I	410	150	200	35	40	6.0
J	650	300	360	35	55	6.5
K	400	180	300	30	45	8.0
L	500	300	360	32	53	8.0

表4 设计出水水质表						单位:mg/L
名称	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
一级A	≤50	≤10	≤10	≤5(8)	≤15	≤0.5
一级A+	≤50	≤10	≤10	≤1.5(3)	≤15	≤0.3

动范围;计算75%、80%、85%、90%、95%累计频率下的水质浓度,其中95%累计频率值用于科学评估污水厂的长期稳定达标能力^[5]。本研究将污水处理厂进水污染物浓度超过其设计进水浓度1.2倍以上的定为高浓度进水^[6-7],统计进水浓度超过其设计进水浓度1.2倍以上、出水浓度超过排放标准的次数,直观反映冲击事件频率与影响。

2 结果与讨论

2.1 进水冲击的整体特征

通过对进出水水质数据(见表5)及进出水超标情况(见表6)的统计分析,本研究识别出进水冲击的以下特征。

2.1.1 冲击的普遍性与严重性

12座污水厂均不同程度地遭受进水冲击。其中,B、K、D、A厂冲击最为频繁剧烈。如B厂进水NH₃-N、TN超标次数分别高达1464次和914次;K厂

表6 进出水水质超标情况表								
进水水质超过其设计进水水质1.2倍以上次数					出水水质超标次数			
污水厂名称	COD	NH ₃ -N	TN	TP	COD	NH ₃ -N	TN	TP
A	157	99	236	123	0	35	15	16
B	202	1 464	914	926	0	11	0	0
C	171	142	185	82	0	8	8	0
D	265	627	552	297	0	9	1	1
E	180	61	456	934	0	4	0	1
F	9	2	20	3	0	2	0	0
G	15	1	4	7	0	1	0	0
H	48	2	11	62	3	2	0	1
I	212	2	28	233	0	0	0	0
J	1	1	1	6	0	0	0	0
K	290	371	592	61	0	0	0	0
L	0	0	4	1	0	0	0	1

进水TN超标592次,其95%累计频率进水浓度达88.35 mg/L,远超设计值45 mg/L。部分可能源于其设计进水浓度限值设定偏低导致,但仍表明冲击并非偶发,而是这些厂面临的常态化挑战。冲击强度也十分突出,如D厂进水NH₃-N瞬时峰值达318 mg/L,是其设计值25 mg/L的12.7倍;K厂进水TP峰值高达4 768 mg/L,是其设计值8 mg/L的近600倍。极端冲击事件揭示了潜在的毁灭性冲击风险。

2.1.2 冲击的指标规律

冲击污染物以氮污染物(NH₃-N,TN)为主导,其次为COD和TP。这表明冲击源多与含氮工业废水(如化工、制药)或富含氮的生活污水有关。

2.1.3 工业废水占比与冲击风险无相关性

数据分析表明,工业废水纳管比例与冲击风险未呈现正相关。如,E厂(工业占比1.00%)和B厂(6.80%)遭受严重冲击,进水冲击次数明显大于L厂(13.50%)。这一发现将冲击源的调查范围从“工业源”扩展至整个“收集系统”,如管网沉积物厌氧释放、雨污混接、地下水入渗、以及未纳入监管的散乱污企业偷排等。

表5 2021年1月—2025年6月进出水水质										单位:mg/L
污水厂名称		进水水质				出水水质				
		项目	COD	NH ₃ -N	TN	TP	COD	NH ₃ -N	TN	
		平均值	346.95	31.35	51.64	4.52	17.07	0.34	9.17	0.09
		最大值	1244.70	77.87	110.89	25.99	49.84	20.03	61.20	0.50
		最小值	52.43	0.65	7.37	1.15	4.19	0.02	2.74	0.01
A	75%累计频率		428.19	35.55	58.35	5.03	19.04	0.31	10.65	0.12
	80%累计频率		457.48	36.55	59.08	5.40	21.29	0.34	11.07	0.13
	85%累计频率		490.05	38.01	59.86	5.83	23.38	0.42	11.49	0.14
	90%累计频率		536.41	39.82	62.12	6.64	26.19	0.56	12.26	0.17

续表									
进水水质					出水水质				
B	95% 累计频率	616.13	43.10	65.89	7.71	29.01	0.84	13.15	0.21
	平均值	344.68	40.61	50.00	5.83	12.55	0.12	9.97	0.09
	最大值	799.95	68.92	406.92	14.59	40.96	3.93	14.96	0.27
	最小值	48.44	4.82	6.19	0.75	2.29	0.01	2.71	0.02
	75% 累计频率	415.24	46.10	56.09	6.56	14.50	0.10	11.29	0.12
	80% 累计频率	438.67	47.08	57.40	6.94	15.17	0.12	11.55	0.13
	85% 累计频率	462.01	47.91	59.35	7.38	15.87	0.16	11.89	0.14
	90% 累计频率	497.12	49.36	62.01	8.27	17.46	0.22	12.27	0.15
	95% 累计频率	551.21	51.86	65.73	9.25	19.05	0.45	12.84	0.18
C	平均值	258.43	27.33	37.47	3.09	16.08	0.17	10.30	0.08
	最大值	808.02	48.77	98.29	10.63	47.80	12.37	21.01	0.29
	最小值	30.69	2.46	11.25	0.76	4.15	0.01	3.94	0.01
	75% 累计频率	330.47	32.31	42.31	3.60	18.67	0.18	11.95	0.11
	80% 累计频率	357.98	33.16	43.85	3.91	19.90	0.26	12.23	0.12
	85% 累计频率	387.39	34.05	45.94	4.27	20.80	0.29	12.53	0.14
	90% 累计频率	425.39	35.58	49.06	4.74	22.16	0.35	12.87	0.16
	95% 累计频率	493.55	37.96	53.80	5.39	24.39	0.50	13.37	0.20
D	平均值	372.83	27.20	42.08	5.55	15.75	0.11	11.44	0.09
	最大值	2 480.00	318.00	174.00	50.50	47.00	5.42	21.40	0.31
	最小值	6.51	0.31	1.37	0.13	4.00	0.01	3.48	0.01
	75% 累计频率	451.80	34.70	52.00	6.41	18.10	0.09	12.60	0.12
	80% 累计频率	500.10	36.40	54.60	6.85	18.90	0.12	12.80	0.14
	85% 累计频率	572.00	38.20	57.80	7.69	19.90	0.16	13.10	0.16
	90% 累计频率	650.35	41.40	60.90	9.37	21.30	0.22	13.40	0.18
	95% 累计频率	788.00	44.40	66.90	12.20	24.50	0.40	13.80	0.21
E	平均值	320.44	25.67	46.79	6.71	14.40	0.24	9.85	0.10
	最大值	1 632.72	69.57	329.21	104.83	48.00	2.86	14.90	0.32
	最小值	42.16	1.52	4.83	0.34	1.23	0.01	2.83	0.02
	75% 累计频率	378.96	29.82	49.94	8.14	16.34	0.33	10.89	0.13
	80% 累计频率	410.87	30.68	53.33	9.10	17.28	0.40	11.20	0.15
	85% 累计频率	457.85	31.70	58.22	10.54	18.18	0.48	11.47	0.17
	90% 累计频率	532.97	30.79	65.59	12.22	19.56	0.60	11.84	0.18
	95% 累计频率	630.02	34.90	80.25	15.03	23.96	0.82	12.36	0.21
F	平均值	442.63	23.81	29.77	2.34	11.16	0.11	8.79	0.07
	最大值	429 386.00	2303.00	73.45	35.45	44.39	1.66	14.89	0.26
	最小值	9.55	1.03	1.87	0.26	2.40	0.01	3.28	0.01
	75% 累计频率	216.40	26.53	34.17	2.66	12.81	0.11	10.09	0.09
	80% 累计频率	234.05	27.32	35.61	2.76	13.29	0.13	10.43	0.10
	85% 累计频率	255.95	28.20	37.31	2.90	13.84	0.16	10.86	0.11
	90% 累计频率	289.62	29.29	39.26	3.08	14.80	0.20	11.42	0.12
	95% 累计频率	344.02	30.93	42.82	3.38	16.48	0.29	12.17	0.14
G	平均值	225.25	23.34	29.07	2.37	10.53	0.09	6.42	0.04
	最大值	2 003.81	72.38	99.47	212.00	38.27	1.85	11.81	0.28
	最小值	69.56	0.05	2.20	0.01	0.70	0.01	0.02	0.01
	75% 累计频率	258.40	26.94	32.66	2.53	12.33	0.08	7.56	0.05
	80% 累计频率	274.44	27.63	33.27	2.63	12.92	0.10	7.94	0.05
	85% 累计频率	292.25	28.38	34.39	2.78	13.70	0.21	8.35	0.06
	90% 累计频率	311.80	29.50	35.64	2.93	14.68	0.25	8.79	0.08
	95% 累计频率	351.04	31.09	37.81	3.15	16.57	0.34	9.41	0.11

续表

		进水水质					出水水质		
H	平均值	341.96	31.98	41.73	5.55	17.89	0.53	8.56	0.07
	最大值	1 396.00	48.84	81.00	23.95	122.00	5.85	13.10	2.62
	最小值	47.90	4.31	13.24	1.60	6.88	0.01	1.80	0.01
	75% 累计频率	403.49	36.10	46.54	6.37	19.00	0.52	9.54	0.09
	80% 累计频率	422.00	37.20	47.62	6.78	20.00	0.77	9.81	0.10
	85% 累计频率	445.00	38.60	49.00	7.31	21.39	1.08	10.20	0.11
	90% 累计频率	480.00	40.20	50.80	8.00	23.00	1.57	10.81	0.13
	95% 累计频率	537.00	42.90	53.43	9.00	25.00	2.25	11.36	0.18
I	平均值	303.71	19.06	30.23	4.75	10.93	0.07	9.04	0.08
	最大值	1 648.90	178.00	64.00	27.30	31.00	0.70	14.70	0.49
	最小值	57.40	0.43	6.50	0.57	1.12	0.01	3.50	0.01
	75% 累计频率	381.89	23.05	34.97	5.73	12.98	0.08	10.36	0.11
	80% 累计频率	415.30	23.98	36.41	6.39	13.96	0.11	10.70	0.12
	85% 累计频率	466.00	25.10	38.30	7.07	14.87	0.17	11.14	0.13
	90% 累计频率	530.50	26.55	40.29	8.06	16.50	0.20	11.61	0.14
	95% 累计频率	622.80	28.56	40.76	9.27	18.71	0.30	12.30	0.16
J	平均值	290.51	14.05	25.22	2.84	11.16	0.17	5.67	0.04
	最大值	790.40	62.00	73.39	19.57	47.94	3.77	14.25	0.40
	最小值	5.60	0.25	0.19	0.30	0.29	0.01	0.95	0.01
	75% 累计频率	358.53	16.94	29.32	3.50	12.70	0.21	6.56	0.04
	80% 累计频率	377.79	17.71	30.30	3.78	13.17	0.22	6.81	0.04
	85% 累计频率	405.01	18.79	31.76	4.03	14.03	0.25	7.15	0.06
	90% 累计频率	435.54	20.44	33.42	4.54	15.22	0.36	7.60	0.07
	95% 累计频率	488.58	23.57	37.50	5.29	17.28	0.60	8.68	0.09
K	平均值	361.48	29.19	50.80	7.66	21.33	0.17	6.67	0.12
	最大值	1 353.98	112.97	226.92	4 768.00	40.53	4.88	13.28	0.39
	最小值	16.78	0.06	4.40	0.12	3.14	0.01	1.08	0.01
	75% 累计频率	432.21	35.04	60.99	5.61	24.17	0.14	8.05	0.16
	80% 累计频率	465.01	37.13	65.19	6.04	25.40	0.18	8.52	0.18
	85% 累计频率	507.96	39.56	69.25	6.61	27.01	0.26	9.01	0.20
	90% 累计频率	564.02	43.14	76.53	7.52	28.57	0.38	9.84	0.22
	95% 累计频率	670.10	49.99	88.35	8.81	31.51	0.70	11.06	0.25
L	平均值	194.87	20.44	28.87	2.33	9.05	0.05	9.69	0.02
	最大值	468.79	37.70	66.40	11.22	32.48	1.86	14.69	0.51
	最小值	43.00	2.56	7.04	0.54	0.51	0.01	2.30	0.01
	75% 累计频率	244.84	23.60	32.68	2.72	11.20	0.06	10.76	0.02
	80% 累计频率	258.20	24.30	33.99	2.83	11.78	0.06	10.96	0.03
	85% 累计频率	272.90	24.90	35.20	3.01	12.34	0.07	11.21	0.03
	90% 累计频率	289.20	25.80	38.27	3.25	13.34	0.08	11.53	0.05
	95% 累计频率	315.17	27.50	42.26	3.59	15.52	0.12	11.92	0.07

2.2 冲击对处理效能与出水稳定性的影响

根据表 5 中数据显示,尽管进水冲击频繁且剧烈,但绝大多数厂区 95% 累计频率出水能稳定达到一级 A 标准,凸显了现有处理工艺(主要是 A²/O 其改良型)在常规运行下具备一定的抗冲击能力。表 6 所示进出水水质超标次数直接揭示了冲击导致的系统薄弱点。

2.2.1 NH₃-N 是最敏感的冲击指标

各厂 NH₃-N 平均出水浓度低于 0.5 mg/L,表明硝化系统作用充分。但 A、B、C、D 等 8 座厂均出现了出水氨氮超标,表明硝化系统是生化处理链条中最脆弱的环节,最易受高负荷或有毒物质冲击而受抑制。

2.2.2 TN 是次要冲击指标

所有厂区 95% 频率出水 TN<14 mg/L, G、J、K、L

厂,其95%频率出水TN低于12 mg/L,脱氮效果出色。特别是K厂,在进水TN最高的情况下,能将出水TN控制在11.06 mg/L,表现优异。A、C、D厂出现了总氮超标,通常源于反硝化过程受阻(碳源不足或C/N比失衡)或硝化失败导致的连锁反应。

2.2.3 COD与TP控制相对稳健

大部分厂区出水COD的95%频率值均低于20 mg/L,D、K厂虽然进水负荷高,但95%频率出水COD(24.5、31.51 mg/L)仍远低于标准,显示出强大的抗有机负荷冲击能力。TP的95%频率值远低于0.5 mg/L,留有很大的安全余量。COD和TP出水超标现象较少且程度较轻,得益于深度处理的保障作用,在多数情况下能有效兜底。但H和L厂的出水TP最大值出现超标,表明在极端情况下除磷工艺存在失效风险。

2.3 基于风险等级的厂站分类管理策略

根据冲击特征与出水稳定性,可将12座厂分为3类实施精准管理。

(1) I类(全面优等生)

G、J、L厂。进水负荷低,各指标控制优异。策略:总结其运行管理经验,作为行业标杆推广。

(2) II类(高负荷稳定运行)

F、I、K厂。能在较高负荷下保持稳定达标,抗冲击能力强。策略:维持现有精细化调控,防范极端事件。

(3) III类(重点风险管控)

A、B、C、D、E、H厂。冲击频繁、出水存在明显短板。策略:实施“一厂一策”,作为源头管控、工艺优化和工程改造的重点对象。

3 进水冲击管理对策

3.1 源头预防与精准预警

建立基于进水水质在线数据的冲击早期预警模型^[8],当关键指标(尤其是 $\text{NH}_3\text{-N}$)开始快速攀升时,提前启动应急预案。如上海松江水业下辖各污水厂都编有一套适合各自单位的运行大纲及应急预案,且在污水泵站安装在线监测仪表,设立泵站运营中心,对输送的污水水质进行过程监控,有效预警厂区提前启动应急预案^[9];重庆市城北污水处理厂抗工业废水冲击的联动调控系统,可根据在线监测指令自动控制水厂启动应急措施,有效避免了多次工业废水冲击而引发的非正常排放事故^[10]。

3.1.1 分级溯源管控

强化污水处理厂上游进水监督及工业企业纳管管理,落实上游水质、水量监管主体责任。对III类厂服务区域内的重点排污单位安装在线监测,建立“污染源-管网-厂前”三级监控预警网络。如对A、B厂在其服务区域内建立更密集的在线监测网络,对重点排污单位实行实时、闭环监管。

3.1.2 管网诊断与修复

摸清城市排水管网的基本情况,发现管网现存的主要问题,有导向性地开展提质增效的方案及配套项目建设。对低工业占比但高冲击厂(如E、B)开展管网普查,解决沉积、淤堵、渗漏、混接问题,从输送环节削减冲击负荷。

3.2 工艺调控与应急响应

3.2.1 建立冲击响应预案库

在保证出水中其他指标和水质安全的前提下,结合污水厂的实际情况,建立冲击响应预案库。核心是对实际水质进行具体分析,根据进水超标指标的特点,结合处理系统的状态,对症下药,灵活运用,制定最适合的控制方案及参数设置。如针对最易超标的 $\text{NH}_3\text{-N}$,预案中明确“实时减量、强化曝气、投加菌剂”的操作流程;针对TN,确保碳源投加系统的快速响应能力;针对TP,保证化学除磷药剂的投加能力有足够的冗余度等等。

3.2.2 厂—网—河联动调度

制定各部门各岗位应对突发情况的操作规程,一旦发生进水超标事件,管理、工艺、中控、化验、运行等各岗位人员及时根据各自的职责,采取各项应对措施。在极端冲击时,利用管网调蓄空间,或经批准后实施限流分流,保护核心生化单元。

3.3 工程措施与长效兜底

3.3.1 增设应急调蓄设施

建议在冲击最严重的B、A等厂增设事故调蓄池,为工艺调整赢得宝贵时间。尤其是工业废水占比较高的厂,如K厂虽冲击严重,但因设有调节池,出水未出现超标情况;研究表明事故调蓄池可储存部分进场高浓度污水,调节水质水量,为系统赢得缓冲时间,可极大程度减少对生化系统的冲击^[11]。

3.3.2 推进工艺柔性改造

改进传统AAO工艺的弊端,进一步增强了脱氮除磷效果。对于长期面临高氮负荷的厂(如A、C),可论证增设前置反硝化区或后置硝化滤池的可行性,提升脱氮冗余度。

4 结 语

(1)本研究通过分析上海市12座污水厂的长期运行数据,表明高浓度进水冲击具有常态化、高强度、以氮污染为核心的特征。

(2)研究发现工业废水占比与冲击风险无明显相关性,强调了将管理视野从“末端厂站”延伸至“全过程系统”的必要性。

(3)氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)是最易被冲击的指标,表明硝化系统最易受高负荷或有毒物质冲击而受抑制,硝化系统是保障出水达标的生命线。

(4)基于“分级、分区、分策”的管理思想,构建了从“源头预警、过程调控到末端兜底”的系统性应对策略框架,为提升特大型城市污水处理系统的整体韧性与安全提供了科学路径。

参考文献:

- [1] 陆桂勇,刘礼祥,许光明,等.城市污水厂突发水质事件应急处理案例分析[J].中国给水排水,2013,29(24):100-105.
- [2] 刘常敬,石凤,杨晨光,等.含高浓度难降解有机氮废水污水厂提标改造工艺设计[J].水处理技术,2022,48(5):145-149.
- [3] Yu G, Shen G, Zhao L, et al. Sewage treatment effect of MPSRs under different influent $\text{NH}_4\text{+--N}$ concentrations and its mechanism of nitrogen removal [J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2025, 13(2): 115521-115521.
- [4] 谢俊健.氨氮冲击负荷对A/A/O工艺的影响及控制措施研究[D].广州:暨南大学,2014.
- [5] 李晓倩,杨洋,袁志丹,等.某BAF污水处理厂的数据统计分析 & 运行建议[J].环境工程技术学报,2013,3(3):189-194.
- [6] 高桂新.工业污水冲击负荷对污水厂AAO工艺运行影响的对策[J].农家参谋,2020(9):182.
- [7] T/CUWA40052—2022 城镇污水处理厂进水异常应急处置规程[S].
- [8] Yaorong S, Linghao C, Tianming W, et al. Research on the Early Warning for Abnormal Inflow in Wastewater Treatment Plants [J]. Theory and Practice of Science and Technology, 2024, 5(4): 30-35.
- [9] 金东辉.浅谈城市污水泵站安装水质在线监测仪表的必要性 [J]. 工业控制计算机,2017,30(8):125-126.
- [10] 肖海文,程宗旺,翟俊,等.重庆城北污水厂抗工业废水冲击的联动调控效果 [J]. 中国给水排水,2013,29(11):22-25;29.
- [11] 许晓明.进水以高浓度工业废水为主的污水处理厂扩建工程设计[J].中国给水排水,2021,37(4):71-75.
- [8] Chen G H, Zou J F, Guo Y C, et al. Face stability assessment of a longitudinally inclined tunnel considering pore water pressure[J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2024, 48(15): 3725-3747.
- [9] 叶友林,刘晓龙,牛奔,等.上软下硬复合地层盾构隧道开挖面稳定性分析[J].沈阳工业大学学报,2024,46(6):848-854.
- [10] 刘泉维,邵小康,黄成,等.上软下硬地层盾构开挖面稳定性计算模型[J].中国铁道科学,2024,45(4):111-119.
- [11] 肖红菊,孙玉永.上软下硬复合地层中盾构隧道开挖面稳定性分析[J].中国铁道科学,2022(5):43.
- [12] 李垂忝,刘彦辉,卢清碧,等.基于极限上限法的富水复合地层盾构隧道开挖面极限支护力计算方法[J].隧道建设(中英文),2024,44(增刊1):187-196.
- [13] 代仲海,胡再强.复合地层盾构开挖面极限支护力上限分析[J].工程科学与技术,2021,53(2):95-102.
- [14] Mollon G, Dias D, Soubra A H. Rotational failure mechanisms for the face stability analysis of tunnels driven by a pressurized shield[J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2011, 35(12): 1363-1388.
- [15] Tarantola S, Becker W, Zeitz D. A comparison of two sampling methods for global sensitivity analysis[J]. Computer Physics Communications, 2012, 183(5): 1061-1072.
- [16] Xu Z, Zhou X, Qian Q. The global sensitivity analysis of slope stability based on the least angle regression[J]. Natural Hazards, 2021, 105(3): 2361-2379.
- [17] Chen G H, Zou J F, Guo Y F, et al. Three-Dimensional Passive Partial Failure Analysis of the Excavation Face of a Shield Tunnel[J]. International Journal of Geomechanics, 2025, 25(7): 04025131.

(上接第53页)