

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.02.010

青岛李村河污水处理厂类Ⅳ类标准提标扩建工程设计

刘浩¹, 臧海龙¹, 耿安锋², 杨睿², 孟涛², 张德跃²

(1. 青岛水务集团环境能源有限公司, 山东 青岛 266002; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘要: 青岛李村河污水处理厂原设计规模 $25\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,为满足李村河流域污染物削减及生态补水需求,四期工程需扩容至 $30\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,同时将出水标准由一级A标准提高至地表水Ⅳ类标准(总氮 $\leq 15\text{ mg/L}$ 除外)。提标扩建工程采用原厂减量分流扩容的建设方案,污水处理采用改良Bardenpho+MBR工艺,原厂分流后出水增设高速气浮工艺,与MBR出水一并经臭氧氧化及消毒后排放。另外,为减少邻避效应,新建厂区采用半地下全覆盖建设方式。工程建成运行以来,在进水浓度冲击较大的情况下,各项出水指标均优于设计指标,同时为李村河上游提供了最大 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的生态补水,取得了良好的生态效益和社会效益。

关键词: 类Ⅳ类标准; MBR; 高速气浮; 臭氧氧化

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)02-0052-06

Design of Quasi Class IV Discharge Standard Upgrading and Expansion Project in Qingdao Licunhe Wastewater Treatment Plant

LIU Hao¹, ZANG Hai-long¹, GENG An-feng², YANG Rui², MENG Tao²,
ZHANG De-yue²

(1. Qingdao Water Group Co. Ltd., Qingdao 266002, China; 2. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: The original design scale of Qingdao Licunhe wastewater treatment plant is $25\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$. To meet the requirements of pollutant reduction and ecological water supplement in Licun River basin, the scale of phase IV project has to expand to $30\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and the discharge standard should be raised from first level A discharge standard to class IV surface water standard (except for total nitrogen no more than 15 mg/L). The upgrading and expansion project adopted the construction scheme of capacity reduction, wastewater diversion and capacity expansion of the original plant. The modified process consisting of Bardenpho and MBR was adopted in the expansion project. A high-speed air floatation process was added for treating the effluent from the original plant, and it was oxidized by ozone and disinfected together with the effluent from the MBR before discharge. In addition, the construction method of semi-underground full coverage was adopted in the new plant to reduce the “not in my backyard” conflict. Since the completion and operation of the project, the effluent indexes were better than the design indexes under the condition of large influent shock load. In the meantime, the project provided the maximum $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ of ecological water supplement for the upstream of Licun River, which achieved good ecological and social benefits.

Key words: quasi class IV standard; MBR; high-speed air flotation; ozonation

为加快提升国控地表水考核断面水环境质量,坚决打赢碧水保卫战,根据《关于加快整治入海排污口的通知》及李村河流域水环境综合治理方案,青岛李村河污水处理厂借助扩建工程建设在全市率先启动了提标工作。

1 工程概况

青岛李村河污水处理厂始建于1997年,并于2008年、2016年两次进行扩容及提标改造,四期工程扩建前处理规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水执行一级A标准,并取得了较好的运行效果^[1-3]。为满足李村河流域水环境治理要求,该污水处理厂提标改造及四期扩建工程需将污水处理厂总规模提升至 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,同时根据李村河水环境综合整治及《青岛市环境保护局关于海泊河、李村河污水处理厂提标改造项目适用水质标准的复函》要求,主要出水指标COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 BOD_5 、TP全部需提高到地表水Ⅳ类标准,总氮指标按照一级A标准执行。

2 设计水质

根据现状污水处理厂多年运行水质资料和对进水水质指标及其变化趋势的预测,并结合污水处理厂运行的实际情况及与周边污水处理厂设计进水水质对比,尊重客观实际并合理选择碳负荷与氮负荷的保证率,最终确定,本次提标改造及扩建工程的进水水质与现有李村河污水厂进水水质相同。

该提标改造及四期扩建工程设计进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	BOD_5	COD	SS	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP
进水	430	900	750	58	80	13
出水	6	30	10	1.5(2)	15	0.3

注:出水粪大肠菌群 $<1\,000$ 个/L;括号中数值为每年12月1日—次年3月31日限值。

3 工程设计

3.1 工艺流程

李村河污水厂进水包括生活污水、工业废水,具有污染物浓度高、成分复杂、可生化性较差等特点,COD、TN等重要污染指标为污水处理厂提质增效带来了较大难度,虽经精细运维取得了较好的处理效果^[4],但与新排放标准仍有差距,需要进行进一

步提标改造。

污水厂二级处理的提标改造方法主要有提高生物池混合液浓度(MLSS)、投加填料、减量或扩容改造。李村河污水处理厂已建前三期工程提标采用投加填料的MBBR工艺,目前好氧区填料的填充率已超过46%,且生物池MLSS经常在 $6\,000 \text{ mg/L}$ 以上运行,有时达到 $8\,000 \text{ mg/L}$ 以上,比设计值高出50%以上,以抵抗高浓度废水的冲击负荷,污泥浓度已经无法进一步提高,进一步提标需对生物池减量扩容。

李村河污水厂原深度处理工艺为混凝沉淀转盘过滤,从运行效果看,难以保障SS稳定达标。一方面是滤布滤池的过滤精度不够,另一方面是一、二期工程一级A升级改造及三期扩建工程均在现有场地内进行,构筑物布置和设备选型均受到一定限制,抗冲击能力不足。因此需增加SS去除段,鉴于现有工程采用高密度沉淀池深度处理,故选择高速气浮工艺作为深度处理工艺,并与扩容工艺一并进行臭氧氧化深度处理,以保证COD的去除。

根据污染物去除率要求,经计算,现有污水厂生物系统处理量(自预处理后)需由 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 减量至 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分流的 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 与扩建的 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水经预处理后进入新建的生物池处理系统,剩余部分经原处理系统后,经提升进入新建 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 高速气浮池,工程设计改造方案见图1。根据规划要求,为减少邻避效应,提标扩建部分按半地下全覆盖形式建设。经过对不同工艺处理效果、抗冲击性、经济性各方面进行比选,确定扩建部分二级生化处理采用改良Bardenpho+MBR工艺。其工艺流程见图2。

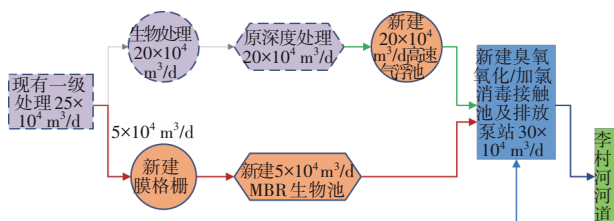


图1 李村河污水处理厂改造提标工程设计方案

Fig.1 Design scheme of the upgrading and expansion project of Licunhe WWTP

不利于出水TN达标。

根据进水水质及工艺运行的脱氮需要,投加碳源乙酸钠,以满足生物脱氮要求。采用隔膜计量泵投加,共3台(2用1备), $Q_{\max}=2\,000\text{ L/h}$, $H=350\text{ kPa}$ 。在生物池前缺氧区和后置缺氧区均设有碳源投加点。

3.2.2 提标部分

① 高速气浮池($20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)

高速气浮池4座,单座平面尺寸约 $15.4\text{ m}\times 19.6\text{ m}$,气浮区面积 90 m^2 ,设计流量 $8\,332\text{ m}^3/\text{h}$,气浮区的平均流量下上升流速 23.1 m/h ,产泥量 $5\,700\text{ kgDS/d}$,排泥浓度为 $3\sim 5\text{ g/L}$ 。在混凝区和絮凝区分别投加药剂PAC和PAM,并通过混凝区和絮凝区的水力搅拌作用,使水体中的悬浮物聚集在一起形成矾花,流至溶气区,在絮凝阶段形成的矾花会附着在微气泡上,被气泡带到水面,形成厚的浮渣层,通过水力排渣系统去除。

② 臭氧发生器间(规模 $30\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)

臭氧发生器间及液氧站设计规模 $30\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。臭氧发生器间包括臭氧发生器设备间、电源柜间、低压配电间、换热器间、空压机房等,平面尺寸 $23.6\text{ m}\times 26.6\text{ m}$ 。

臭氧投加量 10 mg/L 。采用液氧为气源,共设5台臭氧发生器,单台臭氧产量 25 kg/h ,臭氧浓度 148 g/m^3 ,露点 $\leq -65\text{ }^\circ\text{C}$ 。

臭氧发生器采用闭式循环冷却系统,设置2台热交换器。水泵间内设置6台循环冷却水泵,单台 $Q=40\text{ m}^3/\text{h}$, $H=200\text{ kPa}$, $P=4.0\text{ kW}$ 。

臭氧投加量可根据接触池进水流量确定,也可以通过事先设定的水中余臭氧浓度进行反馈控制。发生器旁设置2个 40 m^3 液氧罐,可储存 $3\sim 7\text{ d}$ 的液氧用量。液氧设备采用租赁形式,设置在露天的液氧站内,液氧站平面尺寸 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 。

③ 加氯间(规模 $30\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)

加氯间与高速气浮池合建,加氯间设次氯酸钠储罐4套,单套有效容积 25 m^3 ,配备2台卸药泵,单泵流量 $50\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 100 kPa 。隔膜计量泵3台,单泵最高流量 500 L/h ,扬程 350 kPa 。

④ 臭氧接触池($30\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)

臭氧接触池1座(分3格),三级接触区的臭氧投加比例依次为 50% 、 25% 、 25% 。臭氧投加浓度为 10 mg/L ,接触反应时间 49 min ,有效水深 8.1 m 。接

触池顶设臭氧破坏器1套,排放到环境空气中的尾气中的残留臭氧浓度低于 $100\text{ }\mu\text{g/m}^3$,在每格接触池顶板上设置1个双向呼吸阀,以防止接触池内出现负压或正压。

⑤ 接触池及回用水泵站($30\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)

加氯接触池1座,接触时间 30 min 。回用水泵站与接触池合建,设置潜水泵3台(2用1备),水泵流量 $160\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 340 kPa 。

⑥ 提升及排放泵站

提升泵站设计规模 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,设计流量为 $11\,000\text{ m}^3/\text{h}$,提升泵采用潜水轴流泵,共4台(3用1备),单泵 $Q=3\,650\text{ m}^3/\text{h}$, $H=50\text{ kPa}$ 。排放泵站设计规模 $30\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,设计流量 $16\,250\text{ m}^3/\text{h}$,排放泵采用潜水轴流泵,共5台(4用1备),单泵 $Q=4\,100\text{ m}^3/\text{h}$, $H=50\text{ kPa}$ 。

⑦ 新建排放口

污水厂原出水排放口设3根DN1200的管道,穿过环湾大道后沿现状排水明渠排入胶州湾,根据《关于加快整治入海排污口的通知》及李村河流域水环境综合治理方案及规划,调至李村河河道挡潮闸以上,排放管道采用一根DN2000钢管,排入李村河河道末端,同时,与配套再生水管线连接,为上游提供 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的生态补水。

3.2.3 污泥处理系统

① 污泥发酵池及泵房

为开发碳源,设置初沉污泥浓缩发酵池,共设2座,直径 20 m ,上清液回流至生物池。在发酵池旁设置1座排泥泵房,内设2台污泥泵,单台 $Q=120\text{ m}^3/\text{h}$,将浓缩发酵后的污泥排至脱水机房储泥池。

② 脱水机房

脱水机房内,剩余污泥经预浓缩后进入叠螺浓缩机,共设置3台,单台处理量 $150\text{ m}^3/\text{h}$,浓缩机产出的浓缩污泥含水量为 97% ,再送入污泥调节池与初沉污泥混合加药调理,调理后的污泥通过高压污泥进料螺杆泵送入隔膜压滤机进行压滤脱水,脱水后的成品污泥含水率小于 60% 。

共设置4台板框脱水机,单台处理能力为 12 tDS/d ,每套脱水机对应设置高低压进泥泵各4套,高压进泥泵流量 $30\text{ m}^3/\text{h}$ 、扬程 1.2 MPa ,低压进泥泵流量 $80\text{ m}^3/\text{h}$ 、扬程 0.4 MPa 。板框出泥后由皮带机传送,破碎为粒径 $<5\text{ cm}$ 的污泥颗粒后直接落车运走,实现污泥外运不落地。

4 运行效果及设计特点

4.1 运行效果

项目投产运行后,2020年3月—2021年3月的

实际进、出水水质见表2。

由表2中的数据可见,该工程出水水质稳定优于设计标准。

表2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

mg·L⁻¹

项 目	BOD ₅		COD		SS		NH ₃ -N		TN		TP	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2020年3月	389	2.91	818	20.10	891	5.39	30.15	0.81	54.87	10.10	10.95	0.09
2020年4月	375	2.91	567	22.67	590	7.42	25.39	0.43	67.95	10.91	10.28	0.12
2020年5月	235	3.03	809	23.00	1 079	7.00	24.35	0.61	63.96	9.56	37.78	0.14
2020年6月	386	3.23	1 266	18.91	1 308	7.50	24.41	0.44	57.36	8.58	11.28	0.14
2020年7月	279	3.30	1 099	17.95	1 200	5.30	18.01	0.49	65.99	9.78	21.31	0.19
2020年8月	270	1.93	445	15.42	513	3.95	14.14	0.36	53.14	7.56	10.19	0.14
2020年9月	216	1.89	647	15.47	748	3.42	18.30	0.32	51.12	8.96	14.66	0.14
2020年10月	362	1.71	666	16.82	432	5.07	25.10	0.51	57.15	13.31	13.66	0.19
2020年11月	227	1.92	731	16.59	718	5.87	34.00	0.28	78.79	7.95	15.24	0.10
2020年12月	366	2.61	804	16.00	750	5.45	41.50	0.49	92.90	8.19	21.45	0.18
2021年1月	330	2.97	712	15.60	593	6.42	35.45	0.37	68.45	10.22	11.58	0.16
2021年2月	295	2.71	628	16.53	429	6.54	36.39	0.48	60.03	9.60	9.73	0.12
2021年3月	245	2.62	546	17.96	446	5.61	38.74	0.67	61.11	9.38	7.91	0.10
平均值	306	2.60	749	17.92	746	5.76	28.15	0.48	64.06	9.55	15.08	0.14
设计出水限值	6		30		10		1.5(2)		15		0.3	

注: BOD₅、COD、SS、NH₃-N、TN、TP去除率分别为99.15%、97.61%、99.23%、98.29%、85.10%、99.08%。

4.2 设计特点

在用地极为紧张的情况下,提标改造工程设计中与已建的一、二、三期工程紧密结合,根据进水浓度较高的特性以及高标准的出水要求,针对各项污染物排放指标设计相应的处理工艺,保证出水水质达标。设计特点如下:

① 将传统的曝气沉砂池、初沉池合并建设为集除砂、除油、排泥功能为一体的高负荷、多功能曝气除油除砂沉淀池,斜管沉淀稳定运行负荷可达18 m/h,为传统工艺的5倍以上。通过控制排泥时间、泥位变化、进水累积量三种方式对初沉排泥量进行控制。实际对油脂类去除率高达70%~80%,SS去除率可达50%以上,200 μm以上砂粒去除率可达80%,提高了预处理单元的处理效率,为后续生化系统减轻了负担。

② 按照城镇污水厂环境集约友好型要求,采用半地下建设方式,污水处理主要工艺设施集中紧凑,处理单元高度集约,比同规模城镇污水处理厂节约用地36%以上。北方冬季温度较低,半地下和池体加盖的运行方式可维持水温,MBR工艺替代传统工艺的二沉池,高过滤精度不仅保证了出水SS达

标,而且避免了冬季污泥浓度过高时发生跑泥现象,膜池回流至好氧区带回的溶解氧,为生化系统节能降耗作出贡献。

③ 在臭氧接触池的进出水处设置COD实时在线监测仪表,并与臭氧投加系统联动,用以指示COD的变化,实现臭氧的精准投加;同时,多点设置环境监测仪及尾气破坏装置,保证不产生二次污染。且利用剩余的溶解氧对水体进行曝气复氧,河道出水溶解氧高达10 mg/L,可有效减缓水体发黑发臭问题。

④ 臭氧与次氯酸钠联合消毒方式,抑制了长距离输送再生水过程中细菌的滋生,保证了高品质出水效果。

⑤ 污泥脱水方面,板框高压双隔膜技术保证污泥含水率小于60%,与传统离心机脱水污泥含水率达78%相比,实现了污水处理厂污泥就地原位减量,满足卫生填埋、建材利用、园林绿化和焚烧对污泥含水率的要求,可为后续处理提供更多选择。

⑥ 项目总平面布局科学合理,与一、二、三期工艺管线科学链接,厂区高品质的再生水全部用于河道补水,可有效改善李村河流域生态环境,实现

厂网河一体化建设。

5 结论

青岛李村河污水处理厂四期提标改造及扩建工程主要出水指标均达到设计标准,处理后污泥含水率 $\leq 60\%$,填补了青岛市地表水Ⅳ类出水标准空白。实践运行表明,该工程运行效果稳定,削减了COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等主要污染物进入环境的总量,为青岛市即将开展的污水处理厂提质增效提供了良好示范,同时,随着本工程的建成投产,不但有效解决了李村河流域污水处理能力不足导致溢流的问题,而且为李村河河道提供了源源不断的生态补水,取得了良好的生态效益。

参考文献:

- [1] 段存礼,顾瑞环,程俊涛,等. 青岛李村河污水厂升级改造工程设计及运行[J]. 中国给水排水,2011,27(12):66-70.
- DUAN Cunli, GU Ruihuan, CHENG Juntao, *et al.* Design and operation of upgrading and retrofitting project of Qingdao Licunhe WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(12): 66-70 (in Chinese).
- [2] 孟涛,刘杰,杨超,等. MBBR工艺用于青岛李村河污水处理厂升级改造[J]. 中国给水排水,2013,29(2): 59-61.

MENG Tao, LIU Jie, YANG Chao, *et al.* Application of MBBR process in upgrading and reconstruction of Licunhe WWTP in Qingdao City [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(2): 59-61 (in Chinese).

- [3] 刘浩,杨俊杰,于宁. Bardenpho五段法/MBBR用于青岛李村河污水厂三期扩建[J]. 中国给水排水, 2016, 32(24): 62-66.

LIU Hao, YANG Junjie, YU Ning. Design and operation of third-phase expansion project of Qingdao Licunhe WWTP by five-stage Bardenpho and MBBR process [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(24): 62-66 (in Chinese).

- [4] 杨平,周家中,管勇杰,等. 基于MBBR的AAO和Bardenpho工艺改造效果对比[J]. 中国给水排水, 2021, 37(7): 11-19.

YANG Ping, ZHOU Jiazhong, GUAN Yongjie, *et al.* Comparison of AAO and Bardenpho processes transformation effect based on MBBR [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(7): 11-19 (in Chinese).

作者简介:刘浩(1977-),男,辽宁锦州人,工学博士,工程技术应用研究员,总工程师,研究方向为水资源利用与水污染防治。

E-mail: genganfeng06@cemi.com.cn

收稿日期:2022-05-06

修回日期:2022-07-01

(编辑:孔红春)

完善水利基础设施网络
增强水安全保障能力