

广州市某全地理 CAST 工艺水质净化厂设计与运行分析

文 / 刘敏强 广州市创景市政工程设计有限公司

摘要：广州市某全地理水质净化厂采用 CAST 工艺，处理规模为 3 万 m³ /d，设计出水水质参考《城市污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准和《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）IV 类水中的较严指标。文章介绍了厂区用地和平面布局、工艺设计、设计参数、运行效果等。

关键词：地理式水质净化厂；CAST 工艺；运行效果

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.17.090

引言

地理式水质净化厂能有效解决传统地上污水处理厂的不足。其全封闭设计消除了恶臭和噪声污染，节省土地资源并提升景观协调性。相比地上式，地理式更适合城区建设，其不但解决了邻避问题，避免对周边商业和房地产的负面影响，还实现环保与城市发展的双赢，是可持续的城市水处理解决方案^[1]。

地理式水质净化厂在设计和运行方面较地上式复杂，本文旨在介绍广州市某全地理式水质净化厂的设计和运营情况，提出实质性的建议，为类似工程的设计提供参考。

表 1 设计进出水水质

污染物	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水 (mg/L)	≤ 650	≤ 300	≤ 500	≤ 30	≤ 35	≤ 8
出水 (mg/L)	≤ 30	≤ 6	≤ 10	≤ 1.5	≤ 15	≤ 0.3

(三) 项目用地和总体布置

厂区选址位于工业区，地块呈方形长边约 230m，短边约 170m，总占地 4.1 万 m²。地理式水质净化厂仅使用其中的 142×93m，总面积约 9800m²，单位用地面积为 0.327 m²/m³。如图 1 所示。

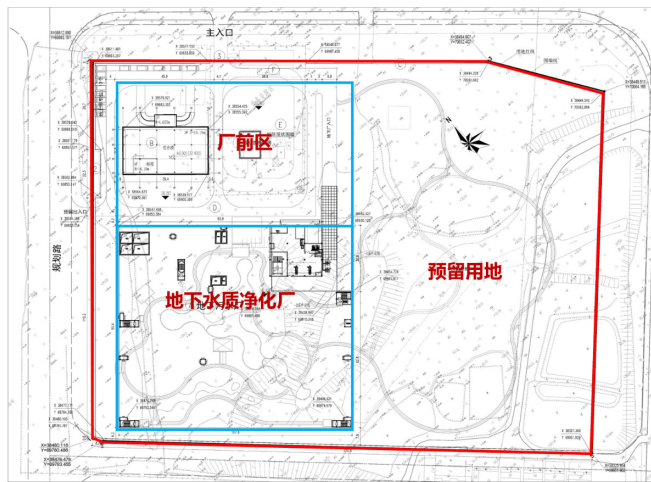


图 1 厂址示意图

厂前区即为地面层及生产运输通道，位于整个厂区的北侧，设有 3 层的综合楼及园林景观等。粗格栅及进水泵房利用现状提升泵站，位于厂区的东北侧，处理区位于厂区的西南侧，地下构筑物平面尺寸 107.8m×93.6m，负一层高度约 5.5m，负二层高度约 7.5m，处理构筑物顶部覆土 1m，最大埋深约 14m。地下构筑物负一层主要包括预处理区、加药间、鼓风机房、消毒池、

一、工程案例

(一) 工程概况

本工程设计规模 3 万 m³/d，2022 年投入使用。采用预处理+CAST 工艺+深度处理，出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准和《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）IV 类水中较严指标。该工程填补了区域污水处理的空白，保护了城市水环境，符合城市规划要求，为城市河道提供了充足的补水水源。

(二) 设计水质

除臭间、污泥干化车间、通道等功能区；地下构筑物负二层主要包括调节池、CAST 生化池、加砂高效沉淀池、高速纤维过滤池、接触消毒池、中水及消防泵房，管廊等功能区。

(四) 工艺设计

考虑到厂区用地面积紧张的实际情况，结合项目建设投资成本，本工程选用 CAST 生物池节地工艺^[2]，无需另设二沉池，节省沉淀池的用地；深度处理部分采用加砂高效沉淀+高效纤维过滤节地工艺；二级出水采用次氯酸钠消毒，满足尾水做完自然水体补水的要求；污泥处理推荐采用离心浓缩脱水机+低温干化技术，污泥含水率降低至 60% 以下后厂外热电厂焚烧处置。

全地理式水质净化厂对通风除臭要求较高，为保障车间内的工作环境和厂界臭气浓度达标，厂区配备了通风、除臭系统。消防设计则在地下车间内根据规范要求划分 8 个防火分区，每个面积控制在 1000 m² 以内，增加喷淋设施后每个防火分区均≤ 2000 m²（扣除无人区面积、小于 10 人的检修平台面积），同时各房间内按要求配置了干粉灭火器，配电间采用气体灭火系统。

(五) 污水处理平面设计

地下池体分两层，地下一层通过中间进出通道将池体分为两部分，进出通道从右侧进入地下水质净化厂中。通道下方为 CAST 池池顶，设置了生物除臭设施、排烟机房、新风机房、高压变配电室、鼓风机房；通道上方主要设置了污泥脱水车间、加药间、风机房、预处理设施、高效沉淀池池顶部、高速纤维过滤罐顶部、消防水池及泵房等；

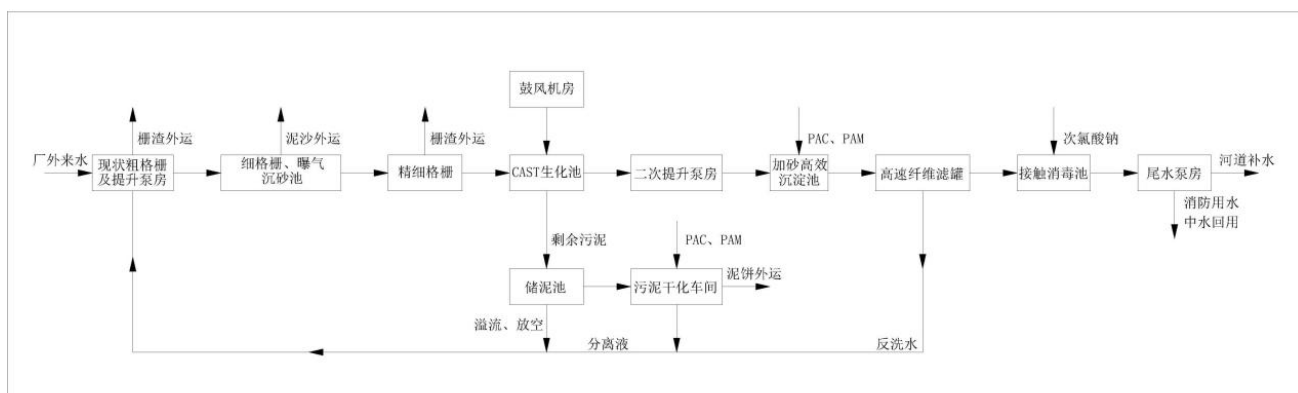


图2 工艺流程图

地下二层则通过中间管廊分成上下两部分，管廊下方为CAST池主体；管廊上方为预处理区、高效沉淀池池体、高速纤维过滤罐主体、接触消毒池及尾水泵房。整个池体设置了5个风机房，确保池体的通风除臭设备的正常运行。

(六) 主要构筑物及设计参数

(1) 现状泵房改造。红线范围内有现状污水转输泵站，为现有水质净化厂进水泵站之一，土建规模4万 m^3/d ，本次改造现状泵房，主要更换部分水泵，将3万 m^3/d 的水量输送至本项目污水处理设施内，以减轻现状水质净化厂的处理负荷。出水管采用一根DN800设置流量计和速闭闸阀，确保与现状水质净化厂灵活调控，也能保证停电时厂区不被水淹。

(2) 细格栅、曝气沉砂池及精细格栅。细格栅及精细格栅均设2台孔板细格栅，格栅孔径分别为5mm和2mm，格栅宽度为1.5m和1.6m；曝气沉砂池分2格，设计停留时间为9min。

(3) 调节池。考虑到服务范围内的工业企业较多，设置调节池用于调节水量兼放空，设计停留时间为2.8h。

(4) CAST池。为节省用地及确保处理效果，采用的是按时间分割的间歇式工艺CAST工艺作为生化段处理工艺。CAST分4格运行，设置了选择区，污泥浓度为4.18g/L，污泥龄7d，总停留时间为25.8h，选择区停留时间为3.7h，循环时间为4h，循环周期数为6个，运行气水比为8.16:1。CAST工艺的运行控制是出水达标的保证，故本工程按照4h的循环时间设置了对应的运行工况。CAST池的配套设施也是运行的关键，主要包括出水滗水器的控制、溶解氧浓度的控制、回流污泥的控制，具体如下：

① 滗水器的控制

使用移动式滗水器，滗水装置的下降速度使出水流量保持不变，滗水器装置使撇水过程进入滗水器的进水呈层流状态。滗水器的初始状态位于水面以上，得到控制命令后进入运行状态，将上清液排出，当滗水器达到预定的最低水位后，便返回到初始状态。

② 溶解氧浓度的控制

由于CAST系统中进行着同步硝化/反硝化过程，不适当的曝气将使整个过程受到影响。因此采用溶解氧水平的变化控制池子的曝气量。确保反应时段前1h溶解氧小于0.5mg/L，并接近于0mg/L，第二小时前期溶解氧为

1.0mg/L，后期溶解氧达到2~3mg/L，整个控制过程由中央控制系统进行。

③ 回流污泥和剩余污泥控制

用回流污泥泵将一定量活性污泥从主曝气区回流至池首选择器中。处于自动控制状态时，曝气、沉淀、闲置阶段进行污泥回流，撇水阶段停止污泥回流。处于手动运行状态时整个循环过程中都进行污泥回流。

(5) 加砂高效沉淀池。将微砂加入到絮凝池中，增大絮凝的速率，使得悬浮物更容易聚集，也使得聚集的悬浮物更容易沉淀，使得出水达标。微砂则可通过专用设备回收，继续投放到絮凝池使用。微砂还具有不影响污泥后续处置的优点。其中，混凝池停留时间3~4.3min，絮凝池停留时间5.2~7.5min，沉淀浓缩区表面负荷：26.4~39.2 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

(6) 高速纤维过滤。为了确保沉淀池出水SS达标，设置了4套高速纤维过滤罐，使得出水稳定在10mg/L以下。其中单座过滤面积8.55 m^2 ，过滤速度36~52 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，气反冲洗强度1.6 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{min})$ ，单座过滤器反冲洗气量13.68 m^3/min ，水反冲洗强度0.6 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{min})$ 。

(7) 次氯酸钠接触消毒池。为确保尾水出水达标，可用于河道补水，设置接触消毒池，停留时间38min，投药浓度为10%，投加量为10mg/L。消毒池与消防水池合建，负一层为消防水池，负二层为消毒池，同时设置尾水提升泵房、消防泵房及中水回用泵房。其中尾水提升泵采用的是3台干式离心泵，两用一备，单泵流量 $Q=1150\text{m}^3/\text{h}$ 。

(8) 鼓风机房。采用磁悬浮鼓风机，为生化池曝气，共3台，两用一备，供气量为85 m^3/min ，风压为72KPa。

(9) 加药间。设有NaClO、PAC和PAM的加药系统，其中PAC为高效沉淀池混凝剂，投加浓度10%，加药量80mg/L；PAM为高效沉淀池絮凝剂，投加浓度1%，投加量为0.6~1.2mg/L；

(10) 污泥脱水车间。污泥脱水工艺采用离心脱水机两台，去水量30 m^3/h ，进泥含水率约为99.2%，出泥含水率约为80%~85%。干化采用低温除湿污泥干化机两台，去水量16.2t/d，进泥含水率约为80%~85%，出泥含水率不大于40%。剩余污泥体积12.5 m^3/d 。

二、运行效果

对2023年的运行数据进行分析，可知进水 COD_{Cr} 浓

度为 60 ~ 800 mg/L, BOD₅ 浓度为 32 ~ 430, TN 质量浓度一般为 10 ~ 80 mg/L, 氨氮质量浓度一般为 1 ~ 38mg/L, TP 质量浓度一般为 0.5 ~ 20 mg/L, 从中可看出由于混合工业废水较多, 进水水质波动大, B/C 约为 0.5, 可生化性很好; B/N 约为 4 ~ 5, 能满足生物

脱氮的要求。而出水各项指标均明显优于设计标准, 这有赖于 CAST 工艺的抗冲击负荷能力。

实际进出水水质如表 2 所示。各指标的进出水情况如图 5 ~ 图 8 所示。

表 2 实际进出水水质

污染物	COD _{cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水 (mg/L)	60 ~ 800	32 ~ 430	18 ~ 460	0.2 ~ 38	9 ~ 83	0.5 ~ 20
出水 (mg/L)	10	1.8	3	0.13	4.4	0.08

三、运行费用

项目运行费用组成主要为电力和药剂, 其中药剂主要

用于化学除磷、污泥脱水及消毒等过程。2023 年, 该厂处理污水量为 18850m³/d, 药耗、水耗和电耗如表 3 所示:

表 3 水质净化厂能耗情况

类别	名称	用量	单位	单价	总费用 / 元	吨水费用	占比
药耗	PAM	2263	kg	16 元 / kg	36208	0.0053	1%
	PAC	330.63	t	2250 元 / t	743915.6	0.1081	13%
电耗		7256048	kWh	0.63 元 / kWh	4571310	0.6643	83%
水耗		49245	t	3.46 元 / t	170386.3	0.0248	3%
合计						0.8025	100%

经计算, 项目运行费用 (电耗药耗水耗) 为 0.8025 元 / t, 单位电耗为 0.664 kW · h / t, 运行费用中电费占比为 83%, 药耗占比 14%, 自来水消耗占 3%。与同类污水处理厂的对比, 该厂电耗相对较高。究其原因, 地埋式水质净化厂通风量大, 电耗较大, 此外, 污泥干化采用的低温热干化机将污泥含水率处理至 40% 以下, 也是电耗大的原因。同时, 还注意到出水氨氮仅剩 0.1mg/L, 可能存在曝气过量的情况。最后, 处理量尚未完全达到设计规模, 也会导致单位电耗较高^[3]。

四、问题与建议

(1) 进水计量考虑。地埋式水质净化厂与泵站出水管存在显著埋深差, 在泵站出水管接入净化厂过程中, 常借助弯头实现埋深过渡。但此易致使出水管上端出现不满管现象, 若将流量计安装于上端, 会严重影响计量准确性; 而安装于靠近净化厂的下端, 又因埋深过大, 导致检修维护困难。因此, 在工程设计中, 一方面需严格遵循流量计安装规范, 确保上下游直管段满足要求, 为准确计量提供稳定流态; 另一方面, 可通过设置溢流井, 有效调节管道水位, 保障管道满管运行, 从而兼顾流量计计量精度与后期运维便利性。

(2) 生化池设计。CAST 池运行控制。为确保出水水质达标, 对于 CAST 池的运行需要对水位和曝气的精准控制至关重要。进水、曝气、沉淀、出水的不同阶段对水位的要求不同, 通过滗水器的撇水控制水位, 曝气系统联动生化池水位和溶解氧浓度, 启闭鼓风机并调整曝气量。此外, CAST 池设置了生物选择区, 利用活性污泥种群组成动力学的规律, 创造合适的絮凝性细菌生长的环境。水力停留时间控制在 0.5 ~ 1h 时,

可有效抑制丝状菌的大量繁殖, 克服污泥膨胀, 提高系统的稳定性。

CAST 池位于负二层, 池顶加盖作为负一层的楼板, 故生化池加盖封闭难以观察生化池液面, 只开部分检查口不足以满足日常检修的需要, 日常运营中需通过楼板上安装夜视摄像头观测水池是否产生气泡, 污泥是否上浮和膨胀等, 一旦发现, 紧急处理, 以免影响生化池运行。

(3) 运行成本控制。本项目中电费为成本控制的关键, 建议优化曝气系统控制, 根据进水氨氮浓度调整曝气量, 在不影响出水达标的前提下, 降低能耗。

结语

(1) 地埋式水质净化厂采用 CAST 工艺作为生化处理, 无需建设二沉池。最大优势在于节约用地, 地下处理车间 (含出入口) 占地面积约为 9800 m², 单位占地面积为 0.327 m² / m³。(2) 为不影响进水计量, 可采用溢流井控制管道水位, 确保管道满流, 保证进水流量计的正常运行。(3) 在设备选型和设计参数选择方面, 应结合运行管理因素进行设计和优化, 提高运行的稳定性。

参考文献

[1] 李易峰, 李航. 国内外地下式污水处理厂发展现状及探讨 [C] // 中国土木工程学会. 中国土木工程学会 2019 年学术年会论文集. 中国建筑香港, 2019: 308-315.
 [2] 胡新立, 司徒菲, 张明, 等. 广州萝岗中心区水质净化厂节地设计案例 [J]. 净水技术, 2021, 40(7): 147-153.
 [3] 周建华, 林巍. 全地下式污水处理厂建设与地面综合产业园利用工程案例 [J]. 给水排水, 2025, (3): 46-52.
 作者简介: 刘敏强, 1990 年 12 月, 男, 汉族, 广东肇庆, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 给水排水设计研究。