

分类号:

UDC

7
编号:

暨南大学

硕士学位论文

佛山市某城市污水厂CASS工艺

处理性能与微生物特性

学位申请人: 屈艳芬

导师姓名及职称: 尹华 教授

专业名称: 环境科学

2007 年 5 月 28 日

暨南大学硕士学位论文

题名（中英对照）：

佛山市某城市污水厂 CASS 工艺处理性能与微生物特性

Characteristics of treatment and microorganism on the Cyclic Activated Sludge System of the Foshan Municipal Wastewater Treatment Plant

作者姓名： 屈艳芬

指导教师姓名： 尹 华

学位、职称： 博士、教授

学科、专业名称： 环境科学

论文提交日期： 2007 年 5 月

论文答辩日期： 2007 年 6 月

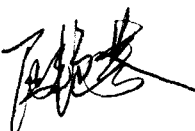
答辩委员会主席：

论文评阅人：

学位授予单位和日期：

独创性声明

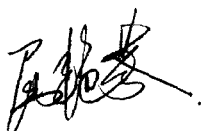
本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 暨南大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名:  签字日期: 2007年5月18日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 暨南大学 有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权 暨南大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后适用本授权书)


学位论文作者签名: 

签字日期: 2007年5月18日

学位论文作者毕业后去向:

工作单位:

通讯地址:

导师签名: 

签字日期: 2007年5月18日

电话:

邮编:

摘要

佛山市某城市污水处理厂占地 1.96 公顷, 首期工程静态总投资 2049.21 万元, 日处理污水 2 万 m^3 。主要构筑物包括粗格栅井、污水提升泵房、细格栅渠、旋流沉砂池、CASS 池、鼓风机房、贮泥池和污泥堆棚等。生化系统采用 CASS 工艺, 剩余污泥浓缩脱水后进行卫生填埋。2005 年 5 月污水处理厂完成单机调试和验收后, 于 5 月 31 日开始活性污泥驯化, 并以 pH、 BOD_5 、 COD_{Cr} 、SS、T-N、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 等物理化学指标和微生物定性定量指标为考察对象, 开展了为期 9 个月的工艺运行测试、系统性能研究和微生物特性研究。试运行阶段, 进水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 浓度分别为 146.7~841.3 mg/L、91.3~312.0 mg/L、5.39~50.67 mg/L 和 2.06~4.59 mg/L, 对应地, 出水浓度分别为 38.0~269.2 mg/L、3.3~38.9 mg/L、1.67~12.94 mg/L 和 0.17~1.57 mg/L。正常运行并优化工艺后, 选择了 15 项水质指标分析系统的处理效果, 结果表明各指标均达标排放。在此期间, 以细菌、酵母菌、霉菌、原生动物和后生动物为研究对象, 较系统地开展了 CASS 反应池活性污泥微生物的数量、形态和类型研究, 从微生物的角度讨论了 CASS 工艺的效果性能。结果表明, 污泥培养成熟后, CASS 反应池中的菌胶团结构稳定, 微生物数量与类型处于较理想的平衡状态, 原生动物优势种主要有钟虫、累枝虫、盾纤虫、变形虫和衣壳虫等; 后生动物的优势种主要有轮虫和水丝蚓等。正常运行阶段每克污泥中, 细菌、酵母菌和霉菌总数分别高达 $(4.2 \times 10^{10} \pm 1.8 \times 10^{10}, 44.2)$ CFU、 $(2.5 \times 10^7 \pm 1.8 \times 10^7, 73.1)$ CFU 和 $(3.6 \times 10^6 \pm 2.6 \times 10^6, 72.4)$ CFU。

[关键词]: 城市污水处理厂; CASS 工艺; 设计; 运行; 微生物

ABSTRACT

The municipal wastewater treatment plant was designed and constructed with pump station, screen unit, grit chamber, CASS tanks, blower house and sludge thickener in Foshan city where 1.96 hectares land was available. The gross investment was 20,492,100 Yuan. The cyclic activated sludge system was utilized to treat 20,000 m³ wastewater per day. Residual sludge was pumped from the CASS tanks at periodic intervals and dewatered further by sludge thickener. After then, the sludge would transport and bury in sanitary landfill with a minimum of damage to the environment. When the treatment plant was completed in April 2005, all the mechanical equipment was inspected with clean water treatment in May. The cultivation of activated sludge followed this step and considered as trial-operation, which lasted about three months. During this period, several kinds of physical and chemical pollutants including pH, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, suspended solids, total nitrogen, ammonia-nitrogen and total phosphorus, and the characteristics of microorganisms were detected to determine the system's efficiency and regulate the operation's parameters. The concentrations of chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, ammonia-nitrogen, and total phosphorus of influent were ranged from 146.7 to 841.3 mg/L, 91.3 to 312.0 mg/L, 5.39 to 50.67 mg/L, and 2.06 to 4.59 mg/L respectively. After treated, the concentration decreased to 38.0 to 269.2 mg/L, 3.3 to 38.9 mg/L, 1.67 to 12.94 mg/L, and 0.17 to 1.57 mg/L respectively. Effluent could return back into the environment with the match of discharge standard of pollutants for municipal wastewater treatment plant and local criteria in 2006. In order to figure out the relationship between treatment efficiency and the microorganisms containing in the activated sludge, the microbial amounts and microscopic morphology of the activated sludge, bacteria, yeast, mould, protozoa and metazoa were studied. The results indicated that there were large numbers of species in the sludge. For instance, the total amounts of bacteria, yeast and mould were $(4.2 \times 10^{10} \pm 1.8 \times 10^{10}, 44.2)$ CFU, $(2.5 \times 10^7 \pm 1.8 \times 10^7, 73.1)$ CFU, and $(3.6 \times 10^6 \pm 2.6 \times 10^6, 72.4)$ CFU per gram sludge respectively in the operation period. As the system became stable, several sorts of protozoa, such as *Vorticella*, *Epistylis*, *Aspidisca*, *Amoeba* and *Arcella*, appeared. Some *Rotifers* and *Limnodrilus* were also observed.

Keywords: Municipal Wastewater Treatment Plant, Cyclic Activated Sludge System, Design, Operation, Microorganism

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	II
目 录.....	I
1 前 言.....	1
1.1 项目研究意义.....	1
1.2 国内外研究概况.....	2
1.3 佛山市某城市概况.....	4
1.4 技术路线.....	6
1.5 研究内容.....	7
1.6 创新点.....	7
2 佛山市某城市污水厂 CASS 工艺关键技术.....	8
2.1 污水处理厂处理规模论证.....	8
2.2 污水处理厂主要技术经济指标.....	10
2.3 污水处理厂厂址分析.....	10
2.4 污水处理厂设计进水水质.....	10
2.5 污水处理厂设计出水水质.....	11
2.6 污水处理厂总体设计关键技术.....	11
2.7 污水处理生产构（建）筑物工艺设计.....	18
3 污水处理厂 CASS 工艺处理性能研究.....	27
3.1 CASS 工艺试运行方法.....	27
3.2 采样和分析方法.....	27
3.3 CASS 工艺处理性能研究结果.....	29
4 CASS 反应池活性污泥微生物特性.....	43
4.1 实验方法.....	43
4.2 实验结果.....	44
5 结 论.....	56
参考文献.....	58
在学期间发表的论文.....	63
致 谢.....	64

1 前 言

1.1 项目研究意义

根据 2005 年和 2006 年《中国统计年鉴》的统计数据,我国 2004 年生活污水和工业废水排放量分别高达 261.3 亿吨和 221.1 亿吨,化学需氧量和氨氮的排放量分别为 1339.2 万吨和 133.0 万吨^[1]。2005 年生活污水和工业废水排放量分别高达 281.4 亿吨和 243.1 亿吨,化学需氧量和氨氮排放量分别为 859.4 万吨和 97.3 万吨^[2]。

大量生活污水和工业废水的产生和排放,对我国的水环境产生了严重的污染。2005 年国家环境监测网七大水系的 411 个地表水监测断面中, I~III 类、IV~V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 41%、32%和 27%^[3]。据此,建设部、国家环境保护总局和科学技术部联合发布的《城市污水处理及污染防治技术政策》规定,全国设市城市和建制镇的污水平均处理率不低于 50%,设市城市的污水处理率不低于 60%,重点城市的污水处理率不低于 70%。2006 年《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》则提出,要加强城市污水处理设施建设,全面开征污水处理费,到 2010 年城市污水处理率不低于 70%^[4]。因此,城市污水治理已是国家战略任务,意义深远。

作为水资源丰富的大省,广东省多年平均地表水、过境水及地下水资源量分别达 1800 亿 m³、2330 亿 m³和 527 亿 m³,水资源总量相对丰富。但水资源时空分布不均,配置不合理,用水效率不高,珠江三角洲、潮汕平原片等局部地区水质污染严重,水质性缺水问题突出。2005 年广东省污水排放总量达 63.8 亿吨,其中工业废水排放量为 23.2 亿吨,工业废水达标排放率 82.9%,城镇生活污水排放量达 40.7 亿吨,占总排放量的 63.7%。COD 排放总量 105.8 万吨,其中工业废水的 COD 排放量为 29.2 万吨,比 2004 年增加 17.1%;有毒有害污染物(氰化物、砷、汞、镉、铬、铅、挥发酚)排放量为 76.5 吨;石油类排放量为 549.8 吨^[5]。水污染严重的水系大多是流经重要城市的河段,给广东省人民生活和经济持续发展带来严重的影响。因此,城市污水处理厂的建设和营运对推动和谐社会

的建设具有非常重要的社会、环境和生态意义。

为改变广东省饮用水源水质下降，地表水严重污染的被动局面，广东省环境保护局联合相关部门编制的《广东省碧水工程计划》和《广东省碧海行动计划》提出，重点整治包括本论文项目所在地的佛山水道在内的珠江河网，2000年前估计完成投资65亿元^[6,7]。2006-2010年间，广东省沿海地区16市拟投资153.4亿元新建扩建城市二级污水处理厂和人工湿地处理厂共116座，新增处理能力753.1万吨/日。2006年起，我省沿海地区新建城镇污水处理设施要求采用脱氮除磷的高效新工艺^[8]。

CASS污水处理工艺作为具有良好的脱氮除磷效果的工艺，已在城市污水和工业废水处理领域得到较广泛地应用^[9-12]。本论文以佛山市某污水处理厂为例对污水处理厂的设计和试运行进行研究，有助于城市污水处理厂经验的推广，为我国城市生活污水的廉价高效处理和污水处理工艺的优化提供宝贵的生产经验，因此，本项目的研究具有重要的理论和现实意义。

1.2 国内外研究概况

CASS (Cyclic Activated Sludge System) 工艺又称为CAST (Cyclic Activated Sludge Technic) 工艺，是循环式活性污泥法的简称^[13]。CASS池是具有脱氮除磷功能的间歇式反应器。进行污水处理时，通过在反应器中进行交替的进水、曝气、沉淀和出水等过程，从而实现在同一个反应池中完成有机污染物的处理和泥水的分离过程^[13,14]。

CASS工艺的生化池一般由生物选择器、缺氧区、好氧区等三个分区组成。其中生物选择器是设置在CASS前端的小容积区，可由砗挡板分隔池体形成，具有防止污泥膨胀、促进磷的释放和强化反硝化的作用^[14-16]。主反应区是废水中有机污染物生物降解的主要场所。在该反应区，微生物可通过释放胞外酶的方式，在体外把附着于菌胶团或游离于水中的有机大分子污染物进行初步降解。然后通过细胞对物质的主动运输机制，把细胞外的小分子污染物进行体内运输。在好氧条件下，微生物可利用诸如糖酵解、TCA循环等物质氧化途径，把体内的污染物进一步分解产能，从而实现污染物的生物降解和微生物细胞的繁殖^[17-19]。

由于CASS工艺每个周期由进水、曝气、沉淀、滗水和闲置等阶段组成，因

此，目前对该工艺的研究主要集中于各阶段的工艺参数优化^[10,13,20,21]、PLC自控系统的完善^[22]、各类自控监测设备的制备、适合该工艺的滗水器的开发等方面^[23-25]，取得了可喜的成绩并推动了该工艺的应用。如日趋发展的PLC自控系统已使CASS工艺各阶段间的切换更加控制自如；浮筒式、旋转式、套筒式和虹吸式等多种类滗水系统的开发和改良，已使CASS反应池的出水更加澄清，出水水位高程更合理^[24,25]。

但是，与其他成熟的活性污泥处理工艺相比，CASS工艺从初具规模的应用到现在，仅有二十年的历史，该工艺仍存在较多的有待改进之处。如工艺的设计仍然还没有成熟的官方标准或手册。相应地，CASS工艺的污水处理厂的试运行报告并不多见，现有的研究和工程实例主要以物理化学指标，表征工艺的运行效果，对生化反应系统中的生物相研究较少。但是，作为间歇式活性污泥工艺，反应系统内的生化反应是非常复杂的。在同一系统中，有机物的降解经历好氧、缺氧和局部厌氧等三种环境，从而实现脱氮除磷去碳等关键目的^[26]。相应地，起作用的微生物均属于不同的生理类群。其中，实现含碳有机物降解的微生物是化学异养型微生物，代时短、产能高，在污水处理系统中，一般只需1~2h即可繁殖一代；而在脱氮中起关键作用的亚硝化菌和硝化菌是化能自养型微生物，靠还原性无机氮的氧化产生能量和电子，同时电子的传递要在细胞膜的电子传递链进行耗能的逆向运输^[27-32]。因此，该类微生物的产能低、代时长，约需12~18h才能繁殖一代；除磷微生物要在厌氧环境释放磷，产生能量，并在好氧环境中把贮能用于磷的过量积累，从而实现种群的繁殖^[33-35]。

在CASS工艺中，这三大类的微生物如何起作用，如何在污水溶解氧变化的环境中达到种群平衡，从而实现污染物的高效降解。这些工程难题和科学问题均需要深入研究和探讨。本研究将以佛山市某污水处理厂为例，进行CASS工艺的设计和试运行研究。其中在试运行中，将以污水COD_{Cr}、BOD₅、SS、TP和TN等指标的处理效果表征污水处理厂的运行效果，同时研究污水处理试运行期间和正常运行初期，CASS生化池菌胶团形态、污水主要类型微生物丰度和微生物个体形态。期望本论文的研究能为城市水厂的高效运行和污水微生物学研究提供初步的研究依据和实验参考。

1.3 佛山市某城市概况^[36-38]

1.3.1 自然概况

该市位于广东省中部、西江中下游，东与珠江三角洲腹地接壤，西与粤西相连，处于经济发达的珠江三角洲和资源丰富的西江经济走廊结合部。全市总面积 2196 平方公里，其中山地占 60%，耕地占 30%，水系占 10%。该市与珠江三角洲腹地接壤，西与粤西相连，处于经济发达的珠江三角洲和资源丰富的西江经济走廊结合部。市政府所在地设在 A 镇。西江干流贯穿该市六个镇，蜿蜒长达 94.78 公里，最大流量为 22800 m³/s，最小流量为 844 m³/s，年平均流量为 6990 m³/s。汛期一般出现在 6~8 月，西江历年最高水位 13.62 m，常年水位一般为 9~11 m。境内西江支流较多，一级支流有 13 条，二级支流有 21 条，一、二级支流总长 755.81 公里。

该市地处低纬北回归线之南，属亚热带季候风气候，大气环流随季节的变化而变化。该市年平均气温为 22℃，每年最热为 7~8 月份，最高气温月平均在 32℃~33℃ 之间。每年最冷是 1 月份。年平均降雨量 1647.9 毫米。无霜期 340 天。历年平均日照总时数 1810.6 小时，历年平均风速为 1.3 米/秒，一般 1~4 月份吹东北风（或偏北风），5~9 月份吹偏东风，10 月份以后又吹东北风。

1.3.2 社会经济概况

1993 年撤县设市以来得到了巨大发展，现已成为国家农村综合实力百强市（县）和全国百佳市（县）。1997 年国内生产总值（不变价）、工农业总产值（当年价）、财政总收入、实际利用外资和外贸出口总值分别为 58.4 亿元、155 亿元、1.1 亿元、1.03 亿美元和 2.3 亿美元。“九·五”发展目标，以上指标分别为 138 亿元、275 亿元、2.1 亿元、1 亿美元和 4.5 亿美元。在“九·五”期间重点实行第二次产业结构调整，总的产业取向是加强农业，突出工业，大力发展第三产业。农业要以“三高”为出发点，工业提高结构优化、规模经济和科学进步，第三产业要加强商贸，交通运输、金融信息以及旅游观光等综合发展。同时对市区建设提出了高起点规划、高标准建设、高效能管理的要求。

该市城区是该市的政治、经济、文化中心。1993 年该市对城区总体规划进

行修编，城市性质规划发展为以轻工业为龙头，第三产业和科技产业发达的综合性中等城市，成为西江中游的工业港口城市。

1994年城区人口现状9.24万人，到2010年城区规划人口25万人，建设用地24.68平方公里，规划控制区50平方公里。并以南岸为中心区向东、向西发展，形成中部组团、东部组团、南部组团三大板块，交通、道路、市政公用设施等不断完善。

1.3.3 佛山市某城市供水现状

该市区现有自来水厂两座，一座是位于中部规划区的中部自来水厂，供水规模为2万 m^3/d ，供水人口约为4万人，其中生活用水约占40~50%，最大日用水量变化系数为1.3，水厂占地2.5公顷，水源取自西江；另一座为刚刚建好的东部自来水厂，首期规模为5万 m^3/d ，规划为10万 m^3/d ，主要供东部规划区的用水，水源取自西江，西江属于重点水源保护体系，水质达到地面水二类标准。

1.3.4 佛山市某城市排水现状

城市排水现状主要以合流制为主，根据2001年环境统计资料，市区（中心区）工业废水排放量2.04万 m^3/d ，工业废水处理量1.3万 m^3/d ，废水处理率63%，生活污水排放量0.65万 m^3/d ，除小部分饮食废水经简单的隔油除渣处理外，其余大部分生活污水没有进行处理。工业废水及生活污水排入城市中心排渠，经中心排渠泵站抽升排入西江，对西江河水水质构成了直接影响。2002年5月28日上午该市环境保护监测站对该市中心排渠排放口的水量进行了实测，旱季现状总污水入河量为2.3万 m^3/d 。

该市（中心区）雨水均排入中心排渠，由于西江水位比该市大部分地区高，故在中心排渠末端设有泵站提升雨水至西江。中心排渠排涝泵站设7台水泵，装机总容量785KW，控制排水面积12.9 km^2 。

1.3.5 佛山市某城市排水总体规划

排水体制原则采用分流制，污水实行分片统一处理的原则布置管道系统。旧城区改为分流制有困难时，可采用合流截流式排放污水。污水量按给水量的

85%计算, 2010年该市总的污水量为17万 m³/d, 为了保护生态环境, 减少污染, 污水需经污水处理厂二级处理后才能排进河流。

依据地形和地理位置, 将污水分片处理, 规划共设三个污水处理厂, 详见表 1-1。

表 1-1 污水厂一览表

Table 1-1 Municipal wastewater treatment plants of the city

污水处理厂名称	规模(万吨/日)	负责处理地区	占地面积(ha)
第一污水处理厂	6.8	中心组	7.5
第二污水处理厂	3.4	南部组	4.5
第三污水处理厂	6.8	东部组	7.5
合计	17		19.5

第一污水处理厂即本论文研究的佛山市某城市污水处理厂, 负责处理该市中心组团范围内的污水, 规划厂址在该市东北角中心排渠泵站附近, 污水经过二级处理后通过中心排渠泵站抽升排至西江。

1.3.6 佛山市某城市污水处理厂的建设意义

随着该市经济的不断发展, 城市基础设施有了很大的改善, 人民的生活水平也有了很大的提高。但是随着人口规模的不断扩大, 工业企业的大量增加, 大量的生活污水和工业废水经城市中心排渠直接排入西江, 对西江水质造成了影响, 对饮用水源构成了威胁, 直接影响到当地的生活和经济发展。为了有效治理该市的水环境污染, 贯彻实施广东省委、省政府制定的“碧水蓝天”计划, 使环境保护与经济建设同步, 兴建城市污水处理厂是十分必要的。

1.4 技术路线

污水排放量调研→厂址选择→确定污水处理工艺→污水处理厂设计与建设→污水处理厂生化系统接种活性污泥→投加营养源→调节进水量→调节曝气、沉淀、出水和闲置参数→优化 CASS 池运行工况→采样→水样 pH、BOD₅、SS、COD_{Cr}、T-N、NH₄⁺-N、TP、污泥沉降比和污泥浓度等项目的监测→污水处理厂试运行性能研究和运行参数优化→CASS 生化池菌胶团形态与生物相形态观察

→污水主要类型微生物丰度研究→微生物个体形态观察与研究。

1.5 研究内容

(1) 通过城市总体规划资料调查、现场监测和人口预测,确定污水处理厂设计规模和污水处理厂设计进出水水质;结合厂址所在地自然环境现状,开展污水处理厂总体设计;在此基础上进行粗格栅井、污水提升泵房、细格栅渠、旋流沉砂池、CASS池、鼓风机房、贮泥池和污泥堆棚等污水处理生产构(建)筑物工艺设计和设备选型的关键技术研究。

(2) 以SV值和活性污泥浓度为考察对象,开展污水处理厂试运行阶段CASS反应池活性污泥培养研究。

(3) 监测2005年8月至10月污水处理厂试运行期间,污水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和TP处理效果,从而确定污水厂调试效果与工艺性能。

(4) 监测污水处理厂进水口和尾水排放口水样中pH、 BOD_5 、 COD_{Cr} 、SS、T-N、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP、动植物油、石油类、阴离子表面活性剂、色度、总铜、六价铬、总砷和总铅等15项指标,研究污水处理厂正常运行效果。

(5) 对试运行期间和正常运行初期污水处理厂CASS反应池中的活性污泥生物相进行显微镜观察和拍照,取反应池水样进行细菌、酵母菌和霉菌总数测定,并对这三大类微生物进行分离和菌体形态研究。

1.6 创新点

与以物理化学指标考察污水处理厂处理效果的研究相比,本研究同时以物理化学指标、CASS反应池活性污泥菌胶团形态、污水微生物种类和生物多样性等微生物指标共同表征污水处理厂处理效果和机理的研究,在研究内容方面具有新意。

同时以细菌、酵母菌、霉菌、原生动物和后生动物为研究对象,开展CASS反应池活性污泥微生物的数量、形态和种类研究,在研究对象选取方面较系统。

2 佛山市某城市污水厂 CASS 工艺关键技术

2.1 污水处理厂处理规模论证

2.1.1 城市总体规划的污水量

根据该市城市总体规划（1995~2010），第一污水处理厂即本论文研究的污水处理厂为该市中心组团区服务，服务面积为 9.68 平方公里，2010 年服务人口为 9.6 万人，2000~2010 年综合用水指标 800 L/Cap.d，2010 年中心组团给水量为 8 万 m³/d，规划污水量按给水量的 85% 计算，即 2010 年该市城市污水处理厂规模为 6.8 万 m³/d。

以上用综合用水指标 800 L/Cap.d 计算给水量，如果以给水量的 85% 作为污水处理厂规模的计算显然偏大，因为以上计算的给水量为最大日用水量，而污水厂由于处理构筑物容积较大，一般均具有抗冲击负荷的能力，污水处理厂的规模应采用平均日流量，即计算污水量应除掉日变化系数，如考虑日变化系数为 $K_{日}=1.30$ ，同时考虑 2000~2010 年综合用水指标为 700 L/Cap.d，2010 年该市城市污水处理厂规模应为 $9.60 \times 0.70 \times 0.85 / 1.30 = 4.39$ 万 m³/d。

2.1.2 污水量预测

1 按现状污水量预测

2002 年 5 月 28 日上午该市环境保护监测站对该市中心排渠排放口污水量进行了实测，本次测出的流量为 2.3 万 m³/d。同时根据自来水公司提供的 2001 年供水资料，中心城区工业用水量达 680 万 m³/年，居民生活用水 150 万 m³/年，商业用水 110 万 m³/年，基建用水 60 万 m³/年，其它用 150 万 m³/年。2001 年总用水 1150 万 m³/年，污水量按给水量的 85% 计算，2001 年污水量为 977.5 万 m³/年，一年按 365 天计算污水量则为 2.69 万 m³/d。实测的数据与统计的数据基本一致，因此可认为现状平均日污水量为 2.69 万 m³/d。按现状水量增长情况，并考虑适度超前发展，按年增长率 6%（因城区发展已往东移，增长率不会太高）对该市中心区近期污水量进行预测，详见表 2-1。

表 2-1 中心组团区污水量预测表

Table 2-1 Wastewater quantity of the center district

年份	污水量 (万 m ³ /d)	增长率 (%)
2001 年	2.69	
2005 年	3.40	26.20
2010 年	4.54	68.90

2 按人口增长预测

根据统计资料, 2001 年底城区人口约为 5.2 万人, 按人口增长率 7% 计算, 2005 年中心城区人口为 6.82 万人, 2010 年中心城区人口为 9.60 万人。2000~2010 年综合用水指标 700 L/Cap.d, 污水排放系数取 0.85, 日变化系数 $K_{日}=1.30$, 2005 年中心城区污水规模为 3.12 万 m³/d, 2010 年中心城区污水规模为 4.39 万 m³/d。

以上两种预测结果基本一致, 即 2005 年中心城区污水规模约为 3 万 m³/d, 2010 年中心城区污水规模为 4 万 m³/d。

2.1.3 处理规模

通过以上预测结果并结合城市总体规划, 可认为该市城市污水处理厂 (服务中心组团) 2005 年污水处理规模为 3 万 m³/d, 2010 年污水处理规模为 4 万 m³/d。

根据广东省污水处理规划, 所有设市城市 2005 年末, 城市污水处理率需达到 40%, 考虑到该市的实际经济状况, 处理率取 65%, 即处理规模为 1.95 万 m³/d, 因此确定该市城市污水处理厂首期工程设计规模为 2 万 m³/d, 2010 年近期设计规模为 4 万 m³/d (处理率可达 100%), 首期工程污水厂总图按 4 万 m³/d 布置 (与省计委的立项批复一致)。

该市的城市污水管网基本建成, 污水汇合后排入城市中心排渠, 污水厂进水直接引至中心排渠, 出水排至中心排渠泵站调节池。虽然该市的污水为合流污水, 但考虑到该市经济状况及该工程为总承包项目, 故污水量总变化系数按 $K_Z=1.4$ 进行设计, 并在污水厂南边预留污水厂远期发展用地。

本论文研究范围为首期工程污水处理厂, 厂外污水管网系统不属于此次设计研究范围。

2.2 污水处理厂主要技术经济指标

项目首期工程静态总投资 2049.21 万元，第一部分工程费用 1664.84 万元（其中基础处理 193.06 万元），经济指标为 832.42 元/m³；年电耗 178.18 万 kWh，电耗指标 0.24kWh/m³；污水厂单位处理成本 0.48 元/m³，单位运行成本 0.34 元/m³。

首期工程建设用地 1.96 ha，单位处理水量用地 0.49 m²/m³，绿化率为 45%。

2.3 污水处理厂厂址分析

该市的自然地形为西北高、东南低，城市常年主导风向为东北风，根据该市总体规划 and 排水规划，拟选该污水厂厂址位于城市中心组团东北角位置，即该市 A 镇中心排渠泵站附近。

拟选厂址具有如下特点：

- * 满足“总规”要求。
- * 位于城区发展轴心的下坡向，能利用一定自然高差，减少收集管渠的投资，在整个城市排水系统的末端，利于最大限度收集城区污水。
- * 位于该市自来水厂吸水口下游 3000 米，城东区自来厂 7000 米，受潮汐影响较少，不对上述两饮用水源构成影响。
- * 紧靠西江，污水处理后直接排入西江，可得到较好自净效果。
- * 两省级公路与污水处理厂直接相通，交通便利。
- * 厂址处为市政园林用地，不为耕地。
- * 厂址不会受洪水的威胁。
- * 处于城市主导风向上侧，污水处理厂排出的气味对城区有轻微影响，但通过除臭处理及增设绿化隔离带会将影响降低至最低。

因此该污水厂厂址选在该市 A 镇中心排渠泵站附近是合适的。

2.4 污水处理厂设计进水水质

该市城市污水处理厂的进水主要由城市生活污水和城市工业废水组成，目前工业废水以食品、纺织、五金等废水为主，工业废水占总污水量的 50~70%，废水处理率 63%，故现状污水水质 COD_{Cr} 偏高。按规划，未来中心组团区排水体制为分流

制，区内未来将发展以轻型、高效和具有地方特色的工业企业，故工业废水所占比例将变化不大。但随着经济的发展，工业废水的处理率将提高，处理程度也将逐步满足《污水排入城市下水道水质标准》，故该城市污水处理厂的水质将逐步好转，并将接近广东南方其它城市污水水质。

根据现状污水水质并结合污水厂进水水质预测值，该污水厂设计进水水质见表 2-2。

表 2-2 佛山市某污水处理厂设计进水水质

Table 2-2 Prospective influent quality of Foshan wastewater treatment plant

单位:mg/L(除 pH 外)							
污染物名称	pH	BOD ₅	SS	COD _{Cr}	T-N	NH ₄ ⁺ -N	TP
水质	6~8	130	180	300	35	25	3.5

2.5 污水处理厂设计出水水质

该污水处理厂出水将通过中心排渠泵站抽升排放至西江。西江南岸城区段划定为《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) II 类水域，污水厂出水须达到中华人民共和国国家标准《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 一级标准和广东省地方标准《水污染物排放限值标准》(DB44/26-2001) 的一级标准。

根据以上的两个标准，对该城市污水处理厂首期工程的出水水质规定为：

表 2-3 佛山市某污水处理厂出水排放标准

Table 2-3 Discharge standard of pollutants for Foshan wastewater treatment plant

单位 mg/L(除 pH 外)							
污染物名称	pH	BOD ₅	SS	COD _{Cr}	T-N	NH ₄ ⁺ -N	TP
标准值	6~9	≤20	≤20	≤40	≤15	≤10	≤1.5

2.6 污水处理厂总体设计关键技术

该市城市污水处理厂首期工程规模为 2 万 m³/d，近期总规模 4 万 m³/d，厂平面按 4 万 m³/d 布置，污水总变化系数 K_z=1.4。污水工艺采用 CASS 工艺，污泥处

理采用直接浓缩脱水，污泥处置主要采用卫生填埋。首期工程不考虑生物除臭，仅预留用地。

2.6.1 污水厂工艺流程

根据本项目的进、出水水质，对比各项指标的去除率（详见表 2-4），由此确定该城市污水处理厂需重点处理的项目是去除 BOD₅、SS、COD_{Cr}、T-N、NH₄⁺-N 和 TP，同时结合用地紧张的特点，因此采取成熟、可靠、高效、运行费用低和占地面积小的 CASS 工艺。

表 2-4 佛山市某污水处理厂污染物去除率

Table 2-4 Removal ratios of pollutants for Foshan wastewater treatment plant

污染物名称	pH	BOD ₅	SS	COD _{Cr}	T-N	NH ₄ ⁺ -N	TP
设计进水水质(mg/L)	6~8	130	180	300	35	25	3.5
排放标准值(mg/L)	6~9	≤20	≤20	≤40	≤15	≤10	≤1.5
去除率(%)	—	84.6	88.9	86.7	57.1	60	57.1

首期工艺流程详见图 2-1。该污水厂整体的工艺处理流程为：

(1) 预处理部分

原污水经污水管网和城市中心排渠后直接进入粗格栅间和污水提升泵房，粗格栅间和污水提升泵房合建，主要去除污水中较粗大的漂浮物（如树叶、杂草、木块、废塑料等），并对污水进行提升。经提升并去除大体积杂质的污水进入细格栅和旋流沉砂池，经处理后的污水中颗粒杂质的粒径小于 5mm，可保证下游设备的正常使用。同时可使颗粒杂质表面的有机物能有效地溶入污水中，减少外运清除的大颗粒杂质中有机物的含量。

(2) 生化处理部分

经过一级预处理的污水进入 CASS 生化池进行进一步的生化处理，CASS 生化池结合了生化处理和泥水分离的功能，经 CASS 池处理后的上清液进入消毒接触池消毒处理后，直接流经出水井排至中心排渠泵站调节池后排放。CASS 生化池的空气由配套的鼓风机房提供。

(3) 污泥处理部分

CASS 生化池泥水分离后的污泥进入贮泥池浓缩后，泵送至污泥脱水间进行进一步的泥水分离，脱水后的泥饼外运卫生填埋处理。

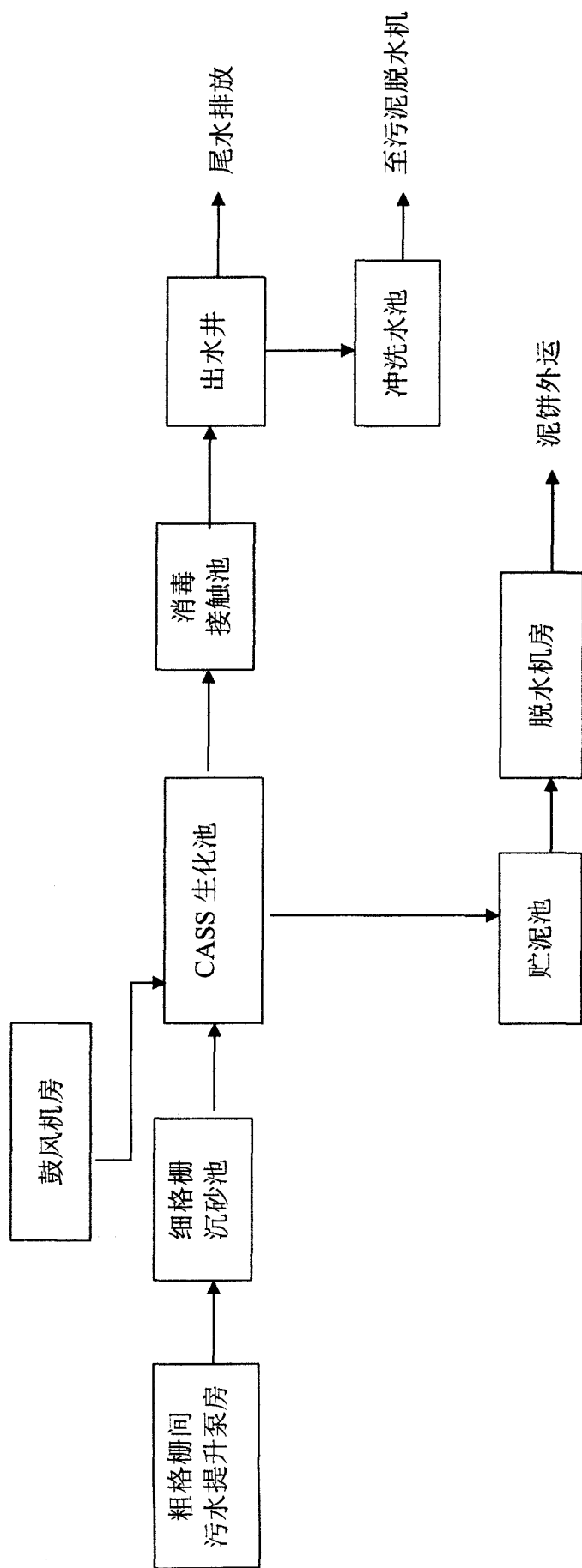


图 2-1 佛山市某污水处理厂工艺流程图
 Fig. 2-1 Schematic diagram of Foshan wastewater treatment plant

2.6.2 厂区平面设计

1 污水处理生产区布置

进水直接引至污水厂内的城市中心排渠（在中心排渠内设截流墙，墙高 0.6 m），处理后的出水计量后排至中心排渠泵站前调节池。污水提升泵房、细格栅、沉砂池及预处理生物除臭装置及鼓风机房布置于场地中部；鼓风机房和变配电室布置于中部，距污水提升泵房和生化池较近，供气、配电亦均匀、方便；CASS 池布置在厂区红线东西两侧，首期 2 万 m^3/d 布置于东侧，近期另一组 2 万 m^3/d 预留于西侧。消毒接触池布置于厂区东面，且靠近排放水体及加药加氯间，以避免管线的迂回，并减少水头损失。

2 污泥处理处置区布置

污泥处理处置区布置在厂区用地东南角，离厂前区约有 150 m 远，且位于下风向，不会对其产生不良影响。污泥处理处置区设有贮泥池、冲洗水池、污泥浓缩脱水间。

3 厂区道路

为便于交通运输、消防、设备的安装维护，道路布置成环状，每个建（构）筑物间均有道路相通，厂内主干道宽 6 m，次干道宽 4 m，道路转弯半径大于 6 m，混凝土路面。

4 占地

污水处理厂占地 1.96 公顷，用地指标为 $0.49 \text{ m}^2/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ，绿化率达 45%。

5 厂区平面布置

厂区总平面布置详见图 2-2。

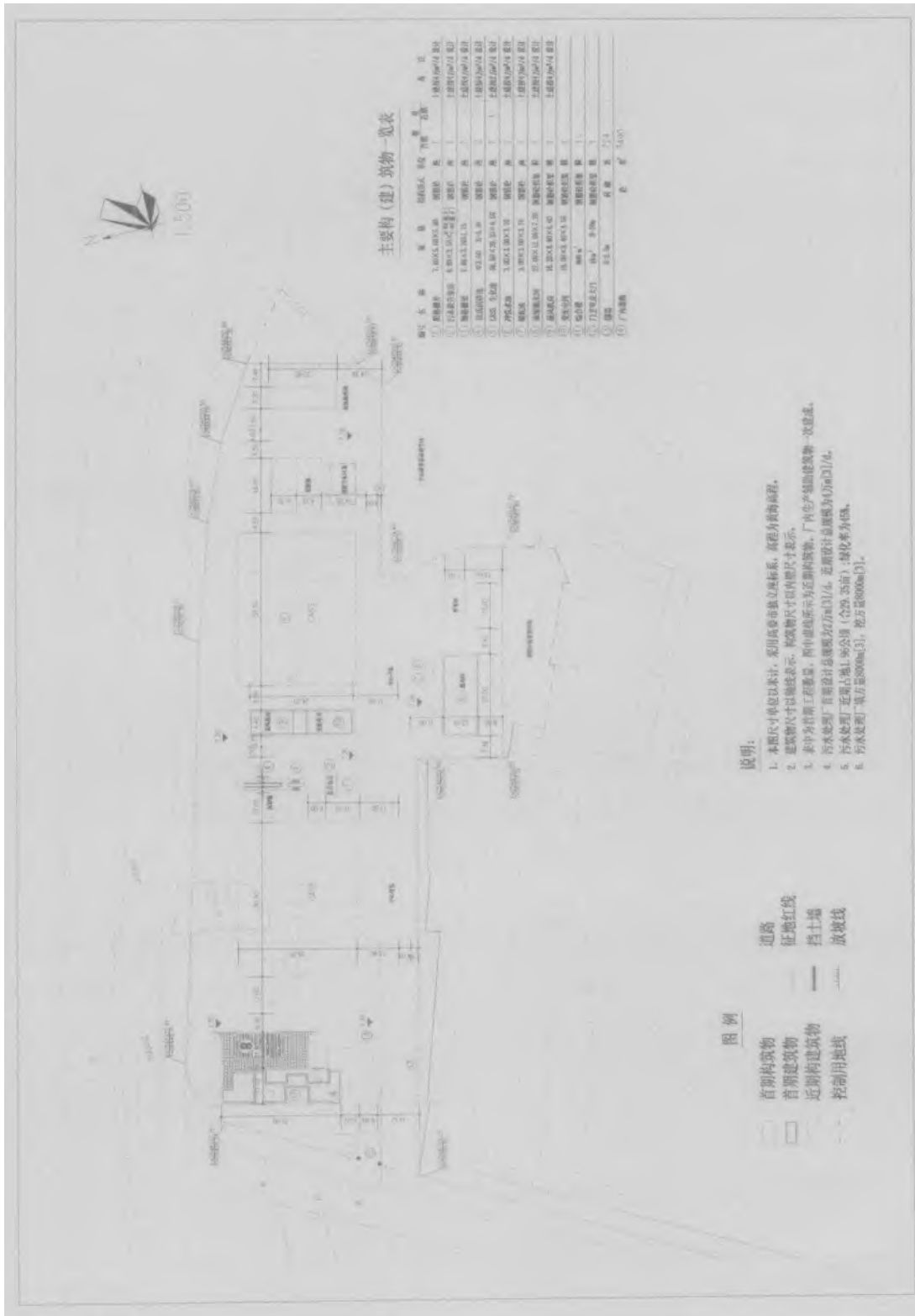


图 2-2 厂区总平面布置图
Fig. 2-2 Horizontal diagram of Foshan wastewater treatment plant

2.6.3 竖向设计

按该厂址的地形图，该污水厂厂址处自然地面标高为 6.3~7.0 m；污水处理厂设计地面标高为 7.30 m，中心排渠泵站最高运行水位为 6.06（黄海高程），西面现有公路路面高程为 6.8~7.0 m，北面公路路面高程为 14.8~15.2 m 左右。

1 竖向设计原则

污水厂的竖向设计坚持以下原则：

- (1) 截流污水经进水泵房提升后能自流流经各处理构筑物，并尽量减少提升扬程，节省能源。
- (2) 出厂污水能自流排入受纳水体，尽量避免提升，方便管理及节省能耗。
- (3) 尽量减少厂区挖填方量，挖填方尽量平衡，节省投资。
- (4) 不受洪水淹没。

2 厂区地面标高

根据上述防洪要求，结合厂区自然地形标高及考虑到厂区排水方便，尽量减少填土方量及与周围道路相对衔接顺畅，厂区设计地面标高确定为 7.30 m。

按上述设计厂区地面高程，场平挖方量 8000m^3 ，填方量 8000m^3 。

3 水力断面

在一般情况下，消毒接触池的标高一般为污水厂各构筑物标高的基点，它的确定首先应考虑尾水能自流排放，其次应考虑结构抗浮、提升泵房的提升扬程电耗、土方的平衡及外运的数量等各方面问题。

中心排渠泵站最高运行内水位 6.06 m，为了能让接触池自流排放，接触池出水高程定为 6.60 m。

各构筑物水位标高，根据出水水位标高及水头损失依次推算。经计算，水力流程总水头损失为（泵房出水至接触池出水）3.85 m。

该污水处理厂的竖向设计详见首期污水厂高程图 2-3。

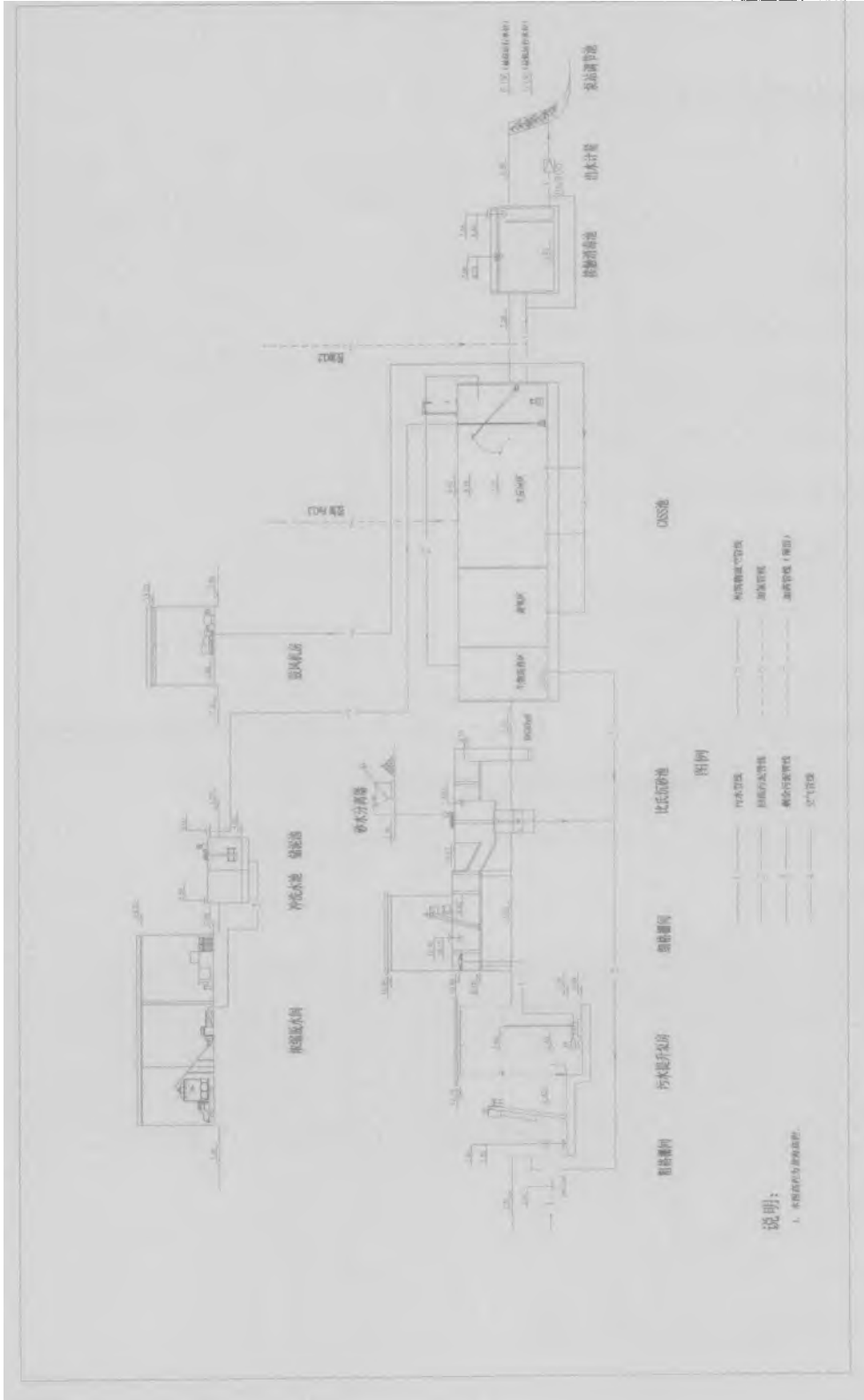


图 2-3 首期污水厂高程图
Fig. 2-3 Altitudinal diagram of Foshan wastewater treatment plant

2.7 污水处理生产构（建）筑物工艺设计

2.7.1 粗格栅井及污水提升泵房

1 粗格栅井

(1) 设计参数

土建设计规模：4 万 m^3/d

总变化系数： $K_z=1.40$

格栅栅条间隙： $b=20\text{ mm}$

格栅过栅流速： $v=0.70\text{ m/s}$

格栅安装倾角： 75°

最大过栅水头损失： $\Delta h=0.20\text{ m}$

(2) 土建尺寸

首期工程设 1 座粗格栅井，土建按 4 万 m^3/d 一次建成，格栅井内分 2 格，中间设楼梯，可察看格栅机的工作情况，便于维护。

平面尺寸： $B \times L = 7.15 \times 4.60\text{ m}$ ，地下深度 6.08 m，钢筋砼结构。

(3) 主要设备

首期安装一台钢绳牵引式格栅除污机，预留一台格栅位置，栅宽 $B=1.0\text{ m}$ ，栅隙宽 $b=20\text{ mm}$ ，安装角度 $\alpha = 75^\circ$ ，栅条断面宽 $s=10\text{ mm}$ ，配用电动机功率 $N=1.1\text{ kW}$ 。

在格栅除污机下面安装一台带式输送机， $B=500\text{ mm}$ ， $L=7.0\text{ m}$ ， $N=0.55\text{ kW}$ 。

2 提升泵房

(1) 设计参数

泵房设计规模：4 万 m^3/d

总变化系数： $K_z=1.4$

(2) 土建尺寸

平面尺寸为 $B \times L = 8.35 \times 3.5 \text{ m}$ 。

污水提升泵房地下部分深 7.51 m，地上部分高 4.50 m，钢筋砼结构。

(3) 主要设备

采用潜水泵，湿式安装，2 用 1 备，预留 2 台水泵位置。

$Q = 580 \text{ m}^3/\text{h}$ ， $H = 11.0 \text{ m}$ ， $N = 22 \text{ kW}$

另外，仓库备用 1 台小型移动式潜污泵，供泵坑及格栅井检修放空。

$Q = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ ， $H = 18 \text{ m}$ ， $N = 2.2 \text{ kW}$

2.7.2 细格栅渠、旋流沉砂池

细格栅渠、旋流沉砂池合建。

1 细格栅

(1) 设计参数

格栅设计规模：4 万 m^3/d ，首期 2 万 m^3/d ，1 用

总变化系数： $K_Z = 1.4$

过栅流速： $V = 0.7 \text{ m/s}$

栅条间隙： $b = 5 \text{ mm}$

栅前水深： $h = 1.20 \text{ m}$

最大过栅水头损失： $\Delta h = 0.20 \text{ m}$

(2) 土建尺寸

$B \times L \times H = 3.7 \times 7.65 \times 1.75 \text{ m}$ ，钢筋砼结构，1 座。

(3) 主要设备

采用回转式细格栅 1 台，预留一台格栅位置，格栅机宽 1.20 m，栅条间隙 5 mm，配用电机功率 1.5 kW。栅渣由无轴螺旋输送机输送到渣斗外运。

每道格栅前、后（包括在沉砂池出水渠上）设有插板闸，供检修和切换用。

2 旋流沉砂池

(1) 主要设计参数

设计流量：4 万 m^3/d ，首期 2 万 m^3/d 规模时 1 用 1 备。

总变化系数： $K_z=1.4$

除砂效率： $d \geq 0.297 \text{ mm}$ ， $\eta \geq 95\%$

$d \geq 0.211 \text{ mm}$ ， $\eta \geq 85\%$

$d \geq 0.149 \text{ mm}$ ， $\eta \geq 65\%$

沉砂有机物分离效率： $\eta \geq 95\%$

(2) 主要工程内容

比氏沉砂池 2 座，土建按 4 万 m^3/d 规模建成，安装一座沉砂池设备，每座直径 3.60 m，池深 2.13 m，砂斗直径 1.52 m，砂斗深度 1.93 m。

每座池内设有 1 台可升降的浆叶分离机和 1 台提砂泵，功率分别为 1.0 kW 和 5.36 kW，砂泵 $Q=15 \text{ L/s}$ ， $H=15 \text{ m}$ 。

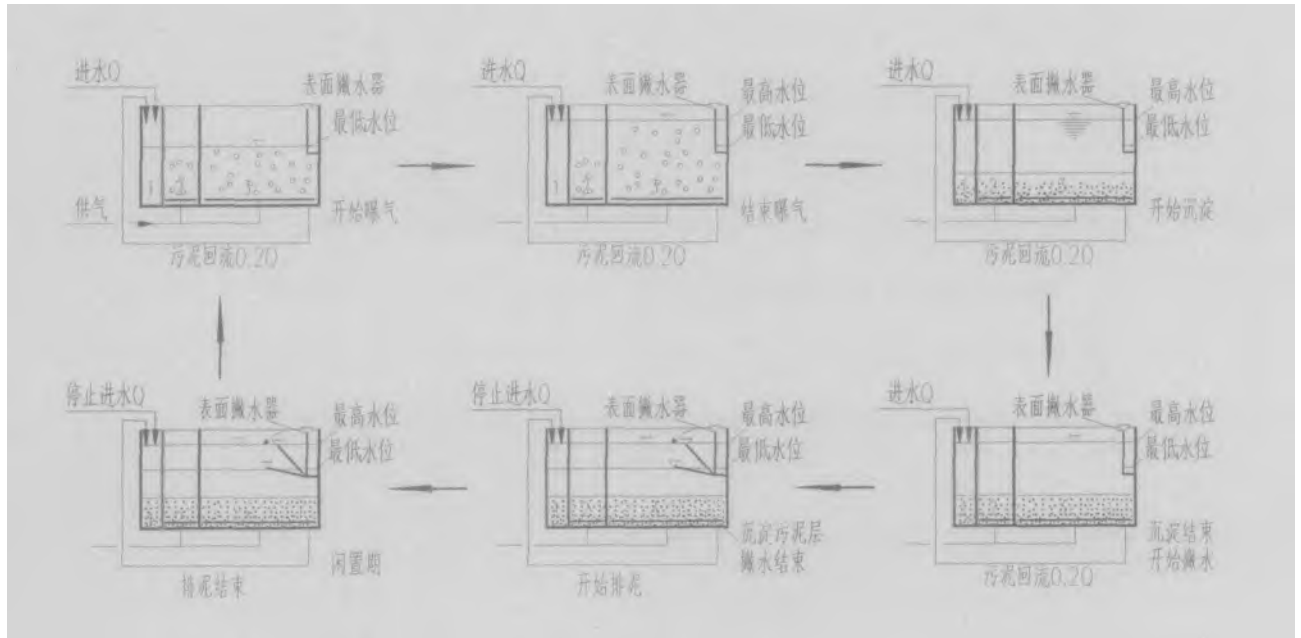
砂水混合物由提砂泵输至砂水分离器，砂水分离器 $Q=30 \text{ L/S}$ ， $N=0.75 \text{ kW}$ ，分离后的干砂外运处置。排砂量为 $3 \text{ m}^3/\text{d}$ ，含水率 60%，容重 1500 kg/m^3 。

2.7.3 CASS 池

本项目的 CASS 反应器由三个区域组成：生物选择区、兼氧区和主反应区。生物选择区是设置在 CASS 前端的小容积区，通常在厌氧或兼氧条件下运行。兼氧区不仅具有辅助厌氧或兼氧条件下运行的生物选择区对进水水质水量变化的缓冲作用，同时还具有促进磷的进一步释放和强化反硝化作用，主反应区则是最终去除有机物的场所。

图 2-4 所示为 CASS 工艺的循环过程。

图 2-5 所示为 CASS 工艺的平面布置简图。



(1 生物选择器 2、兼氧区 3、主反应区)

图 2-4 CASS 工艺的循环操作过程

Fig. 2-4 Treatment processes of the cyclic activated sludge system

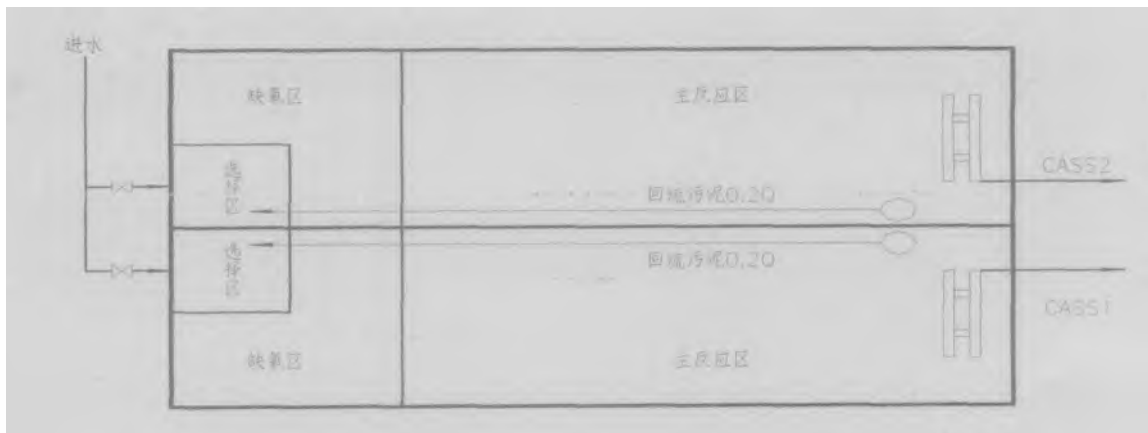


图 2-5 CASS 工艺平面示意图

Fig. 2-5 Schematic diagram of the cyclic activated sludge system

1 土建尺寸

首期工程共设 1 组 CASS 池，每组分 2 格池，每格池内分生物选择区、兼氧区和主反应区。单格平面尺寸： $B \times L = 50.5 \times 19.5 \text{ m}$ ，1 组池平面总尺寸为 $B \times L = 50.5 \times 39.35 \text{ m}$ ，钢筋砼结构。

水深：高水位时 6.0 m，超高 0.5 m。

2 主要参数

设计规模：2 万 m^3/d （首期）

污泥浓度：MLSS=3.8 g/L

污泥负荷： $F_w = 0.06 \text{ kg BOD}_5/\text{kg SS} \cdot \text{d}$

泥龄： $\theta = 10 \sim 15 \text{ d}$

剩余泥量：2.6 t/d（首期）

水力停留时间：HRT=14.0 h

采用微孔鼓风曝气充氧，所需供风量为 $62.5 \text{ Nm}^3/\text{min}$ （气水比 4.5:1），主空气管道采用钢管。

污泥回流采用潜水泵，污泥回流比 $R=20\%$ ，回流污泥通过流量计计量后进入预缺氧区。

3 所需设备及仪表

CASS 生化池（2 万 m^3/d 规模）内设有如下主要设备及仪表：

主反应区共设置 2 套滗水器，单台 $Q=1670 \text{ m}^3/\text{h}$ ，功率 $N=1.5 \text{ kW}$ 。

好氧区设置 4854 只 EPDM 微孔曝气器，空气过流量 $Q_{\text{气}}=3 \text{ m}^3/\text{h}$ ，氧利用率 $\geq 25\%$ 。

回流污泥采用 2 台潜污泵，单台性能为 $Q=90 \text{ m}^3/\text{h}$ ， $H=6.0 \text{ m}$ ， $N=5.5 \text{ kW}$ 。

剩余污泥采用 2 台潜污泵，单台性能为 $Q=45 \text{ m}^3/\text{h}$ ， $H=9 \text{ m}$ ， $N=3.95 \text{ kW}$ 。

每格生化池空气总管道上设 DN450 空气调节阀，共设 2 只。

便携式 DO 仪，共设 1 台，测量范围 0~5 g/L。

电磁流量计，共设 1 台，测量范围 0~200 m^3/h 。

4 运行方式

CASS 的整个工艺为一间歇式反应器，进行污水处理时，通过在反应器中进行交替的曝气、停止曝气和沉淀的过程，从而实现在同一个反应池中完成有机污

染物的处理和泥水的分离过程^[13,14]。

CASS 反应器由三个区域组成：生物选择区、兼氧区和主反应区。生物选择区是设备在 CASS 前端的小容积区，通常在厌氧或兼氧条件下运行。兼氧区具有对进水水质水量变化缓冲作用，同时还具有促进磷的进一步释放和强化反硝化作用。主反应区则是最终去除有机物的场所。

CASS 工艺的循环运行每一个运行周期的标准时间为 4 h，其中进水、曝气 2 h，沉淀和滗水各 1 h。一天共 6 个周期。每一周期从进水、曝气开始，0~2 h 进水同时曝气；第 3 h 停止曝气，保证活性污泥沉淀；第 4 h 启动滗水器出水，滗水器出水结束至下一周期开始之间为闲置期。首期工程两格 CASS 池间隔错开运行，运行工况见表 2-5。

表 2-5 首期工程两格 CASS 池运行工况表（一个周期）

Table 2-5 Treatment processes of the cyclic activated sludge system

时间	1#CASS 池	2#CASS 池
0~1h	进水、曝气	沉淀
1~2h	进水、曝气	出水、闲置
2~3h	沉淀	进水、曝气
3~4h	出水、闲置	进水、曝气

2.7.4 鼓风机房

工程近期规模为 4 万 m³/d，设 1 座鼓风机房，土建一次建成，设备分期安装，首期安装 2 万 m³/d 规模供气设备。

1 设计参数

工艺要求首期最大时供气量为 $Q=3750 \text{ m}^3/\text{h}$ ，设计按最大时供气量配置鼓风机。

2 主要设备

通过经济技术比较，首期选用国产罗茨鼓风机，2 台，1 用 1 备。主要设备如下：

数量：2 台

单台风量： $Q_{\max} = 62.5 \text{ m}^3/\text{h}$

风压： $\Delta P = 0.67 \text{ bar}$

效率： $\eta = 82\%$

风量调节范围：10%~110%

配套电机功率： $N = 110 \text{ kW}$

进气过滤器、进（出）气消音器：各 2 套

出口止回阀：DN200，PN1.0 MPa，2 只

排放阀：DN100，PN1.0 MPa，2 只

进（出）口补偿器：DN200，4 只

其他配件包括防震器和机组固定件、消音罩、电机变频器、机旁控制柜和主控制柜等。

3 土建尺寸

鼓风机房（不含配电间、值班室）尺寸为 $B \times L = 8.40 \times 16.2 \text{ m}$ ，层高 7.5 m。

2.7.5 污泥处理构筑物

本工程污泥处理采用带式浓缩脱水一体机方式，处理构筑物包括贮泥池、浓缩脱水间和污泥堆棚。

1 贮泥池

(1) 主要参数

干污泥量： $Q = 5200 \text{ kgDS/d}$ （按 4 万 m^3/d 计，一次建成）

含水率：99.2%~99.6%

湿污泥体积： $V = 650 \text{ m}^3/\text{d} \sim 1300 \text{ m}^3/\text{d}$

贮泥时间： $\text{HRT} = 0.5 \text{ h}$

(2) 土建尺寸

$L \times B \times H = 3.00 \times 3.00 \times 3.70$ m, 钢筋砼结构。

(3) 主要设备

搅拌器: 1 台

功率: $N = 2.2$ kW

(4) 运行方式

与系统的剩余污泥泵、浓缩脱水机输泥泵连锁控制。

2 浓缩脱水间

(1) 主要参数

污泥量: 2600 kg DS/d (按 2 万 m^3 /d 计)

进泥含水率: 99.2 %

出泥含水率: 75~80%

絮凝剂: 聚丙烯酰胺

絮凝剂投加量: 0.003 t/t DS, 投加量 2.8 t/年

浓缩脱水机按每天 12 h 运行。

(2) 土建尺寸

平面尺寸 $B \times L = 12.00 \times 18.60$ m, 框架结构, 1 座, 一层, 净高 8.40 m。

土建按 4 万 m^3 /d 一次建成, 设备分期安装。首期安装 2 万 m^3 /d 规模设备。

(3) 主要设备

a、一体化带式浓缩脱水机: 设备采用封闭式, 近期时臭气抽送至全厂生物除臭装置进行集中处理。

带宽: $B = 1.0$ m

数量: 首期 1 台, 近期再增加 1 台。

单台处理能力: 20~40 m^3 /h

配用电动机功率 1.5+3 kW

b、絮凝剂制备系统: 固体药剂投加量 2 kg/h, 1 套

c、加药泵: 螺杆泵 2 台, $Q = 0 \sim 2$ m^3 /h, $H = 0.4$ Mpa, $N = 0.55$ kW

d、注泥泵：螺杆泵 2 台， $Q = 20 \sim 40 \text{ m}^3/\text{h}$ ， $H = 0.5 \text{ Mpa}$ ， $N = 7.5 \text{ kW}$

e、冲洗水泵：离心泵 2 台， $Q = 10 \sim 15 \text{ m}^3/\text{h}$ ， $H = 0.5 \sim 0.6 \text{ Mpa}$ ， $N = 5.5 \text{ kW}$

f、固定式皮带输送机： $B = 600 \text{ mm}$ ， $L = 6.25 \text{ m}$ ， $N = 3 \text{ kW}$ ，1 台。

g、移动式皮带输送机： $B = 600 \text{ mm}$ ， $L = 14.65 \text{ m}$ ， $N = 3 \text{ kW}$ ，1 台。

3 污泥堆棚

土建与设备间结合布置，平面尺寸： $B \times L = 12.0 \times 5.4 \text{ m}$ ，净高 8.40 m。

2.7.6 电气及自动化控制系统

本工程电气设备的负荷等级为二级负荷，按双电源供电进行设计，以确保厂区供电系统的安全性。本工程要求由供电部门提供二回路 10 kV 供电电源，两路电源 1 用 1 备，主供电源满足全厂全负荷用电，备用电源满足全厂不小于 70% 负荷的供电要求。

厂内各主要用电设备，采用技术先进、安全可靠的自动检测和控制方式，实现现场就地手动控制，远程控制（预留）和自动控制。自动/远程（预留）/就地选择开关、手动控制按钮设于机旁就地，完成设备的单体动作，主要用于设备的检修与调试，也可作为生产过程中临时、应急操作手段。正常情况下，由 PLC 自控系统根据工艺流程要求实现自动控制，中控室亦可实现远程手动控制（预留）。三种控制方式的级别由高到低为：手动控制、远程控制、自动控制。

自动化系统采用三层网络组成：生产管理计算机网、自动控制局域网和设备级现场总线网。

低压配电柜和控制箱均留有 PLC 接口电路，工艺成套电气控制设备同样也要求留有 PLC 接口电路。

厂内电动机的启动根据运行工况不同分别相应采用直接启动、Y- Δ 启动以及变频调速方式。

污水处理厂首期和近期工程共设置一个变配电中心，进水提升泵房土建按 4 万 m^3/d 规模设计，设备分期安装。

本工程首期设备总装机容量为 506.00 kW，计算负荷有功功率为 274.13 kW，无功功率补偿后计算负荷视在功率为 293.12 kVA，功率因数为 0.94。

3 污水处理厂 CASS 工艺处理性能研究

3.1 CASS 工艺试运行方法

该城市污水处理厂工程于 2002 年筹建。2003 年初以总承包方式委托广东华南环保投资股份有限公司承建，至 2005 年 4 月完成大部分基建项目，5 月完成单机调试和验收，5 月 31 日投入第一车活性污泥菌种，开始试运行。试运行分为活性污泥培养、自动运行和优化运行参数三个阶段。

2005 年 5 月 31 日，污水厂投加第一车脱水污泥进行污泥接种，至 7 月 26 日共投放 14 车脱水污泥约 70 吨，同时投加的营养盐约 8 吨。这些干污泥和营养盐都投加在 2#CASS 池。至 8 月 1 日 2#CASS 池的 SV 值上升到接近 20%，此时开始将 2#CASS 池的活性污泥接种到 1#CASS 池。至 8 月 15 日，1#CASS 池的 SV 值上升到 15%左右，同时自控系统基本完工，正式投入使用。8 月 15 日开始联动试运行。

9 月和 10 月进行自动运行并优化运行参数，10 月底后，根据进水水质特点，控制 SV=18~20%，MLSS=2000~2200mg/L，污泥龄约 10d，曝气段 DO 控制在 2.5mg/L 左右，厌氧段 DO 控制在 0.05mg/L 以下。

3.2 采样和分析方法

3.2.1 试运行期水样采样

在污水处理厂试运行期间，每天采集进出水水样 1 次，送到污水处理厂分析实验室监测，分析水样的 pH、BOD₅、COD_{Cr}、SS、T-N、NH₄⁺-N 和 TP 等 7 项指标。

3.2.2 项目验收采样

当污水处理设施正常运转后，2006 年 2 月 23 日和 24 日在处理设施的进水

口、尾水排放口进行采样，每天采样4次，监测了pH、BOD₅、COD_{Cr}、SS、T-N、NH₄⁺-N、TP、动植物油、石油类、阴离子表面活性剂、色度、总铜、六价铬、总砷和总铅等15项指标。

3.2.3 水样物理化学指标分析方法

监测方法按《水和废水监测分析方法》进行^[39]。各项目的分析方法及最低检出限见表3-1。

表3-1 废水监测分析方法

Table 3-1 Detection methods of the pollutants

序号	监测项目	分析方法	方法来源	最低检出限 (mg/L)
1	pH	玻璃电极法	GB6920—86	
2	生化需氧量(BOD ₅)	稀释与接种法	GB7488—87	2
3	化学需氧量(COD _{Cr})	重铬酸钾法	GB11914—89	5
4	悬浮物(SS)	重量法	GB11901—89	
5	总氮(以N计)	碱性过硫酸钾—消解紫外分光光度法	GB11894—89	0.05
6	动植物油	红外光度法	GB / T16488-1996	0.1
7	氨氮(以N计)	纳氏试剂比色法	GB7479—87	0.05
8	总磷(以P计)	钼酸铵分光光度法	GB11893—89	0.01
9	石油类	红外光度法	GB / T16488-1996	0.1
10	阴离子表面活性剂	亚甲蓝分光光度法	GB7494—87	0.05
11	色度(稀释倍数)	稀释倍数法	GB11903—89	
12	总铜	原子吸收分光光度法	GB7475—87	0.05
13	六价铬	二苯碳酰二肼分光光度法	GB7467—87	0.004
14	总砷	二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法	GB7485	0.007
15	总铅	原子吸收分光光度法	GB7475—87	0.2

3.3 CASS 工艺处理性能研究结果

3.3.1 污水处理量

试运行过程污水厂日处理污水量变化如图 3-1 所示。在 2005 年 5 月 31 日~8 月 15 日活性污泥培养阶段, 由于污泥刚接种, 尚未适应该厂的进水水质特点, 因此, 需要在较低的水力负荷下进行微生物菌种驯化, 在此期间进水量控制在设计负荷的 33%~50%之间。8 月 15 日全厂自控系统投入使用, 至 9 月 9 日, 按 100%设计负荷日处理污水 2 万吨运行。10 月进水污染物浓度较高, 同时由于雨季结束, 中心排渠液位降低, 不足以开启 2 台提升泵, 因此将全厂负荷降低到设计负荷的 75~80%, 日处理污水 15000~16000m³。

3.3.2 试运行期间 CASS 池污泥沉降比和污泥浓度变化

试运行过程中 2 座 CASS 池的污泥沉降比(SV)和 2#CASS 池污泥浓度(MLSS)变化结果如图 3-2 所示。污泥驯化期间, 2 个 CASS 池中污泥沉降比 SV%的变化趋势接近, 均是先快速增长, 后趋于稳定。这主要是由于在污泥驯化初期, 向生化系统中投加了大量营养源, 使各种微生物处于快速生长繁殖, 荚膜等促进菌体和悬浮物絮凝的次生代谢产物分泌不足等原因促进了 SV%的上升^[40-44]。2005 年 10 月后, CASS 的 SV%在 19%~29%间波动, 处于稳定和正常工作状态。

试运行期间 CASS 池污泥沉降比和污泥浓度变化如图 3-2 所示。

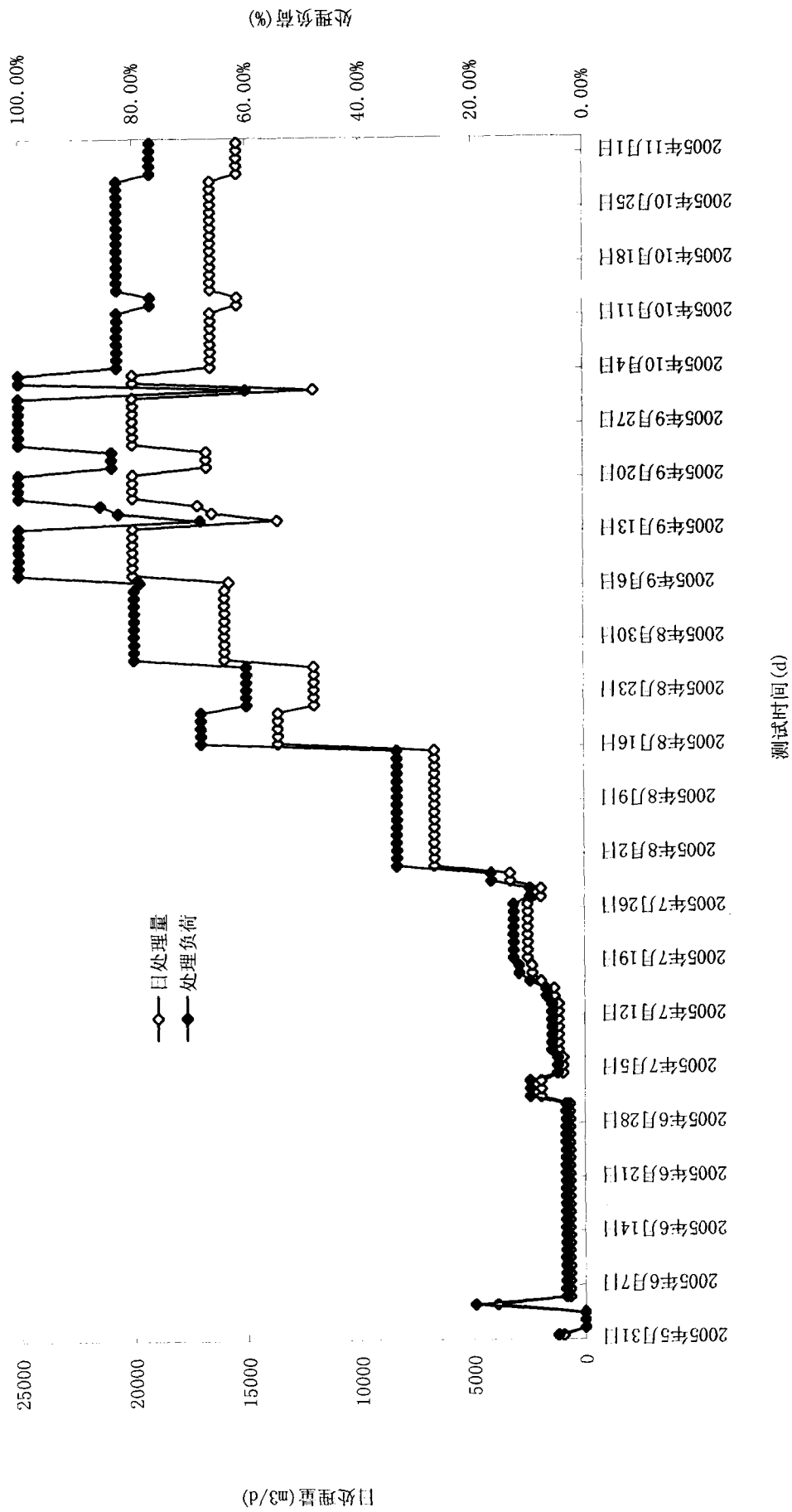


图 3-1 试运行期间污水处理厂进水量变化
Fig. 3-1 Fluctuation of influent quantity in the trial-operation period

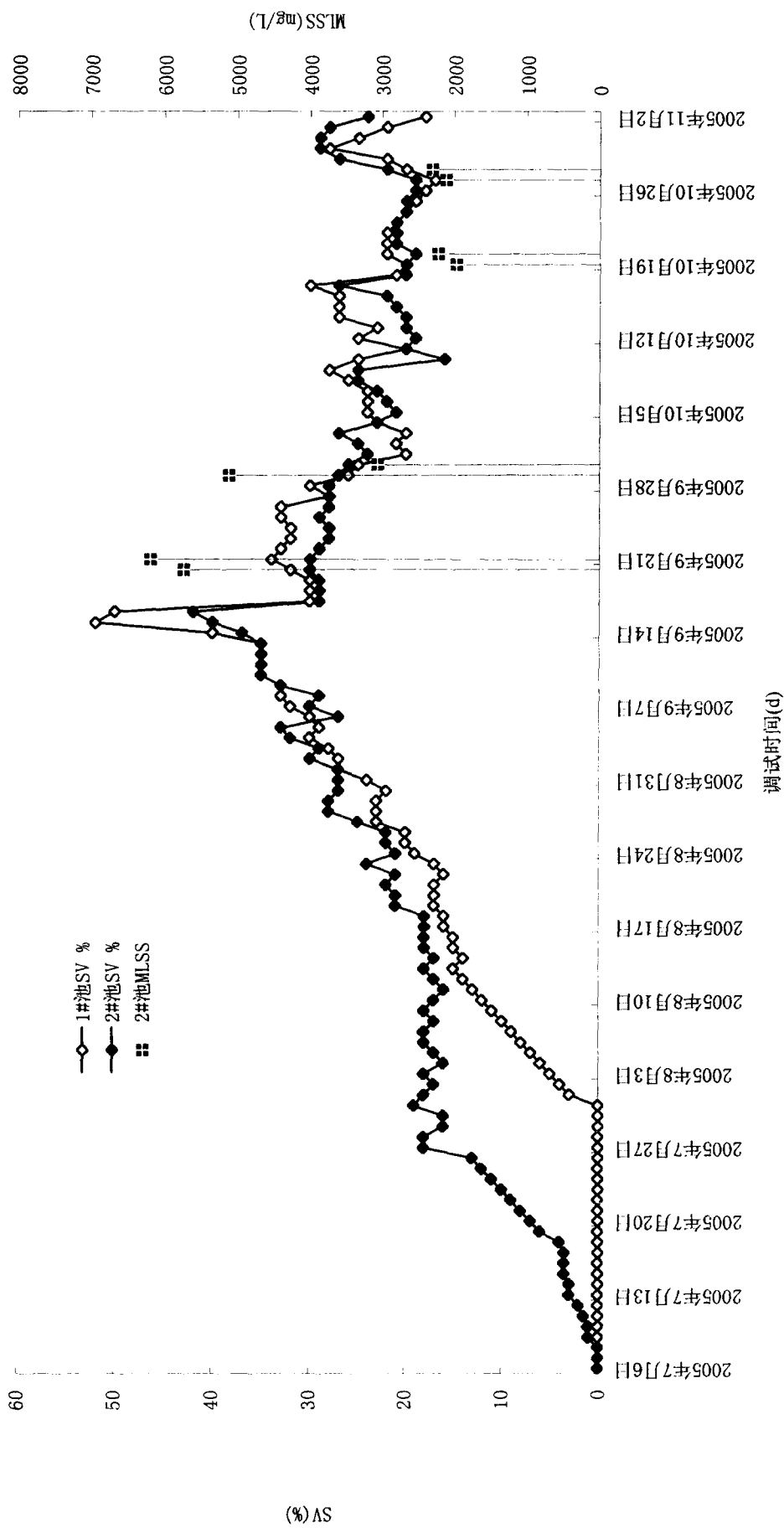


图 3-2 试运行期间 CASS 池污泥沉降比和污泥浓度变化
 Fig. 3-2 Fluctuation of SV and sludge concentration in the trial-operation period

3.3.3 试运行阶段污水 COD_{Cr} 处理效果

对试运行阶段进出水 COD_{Cr} 进行了为期近 3 个月（8~10 月）的监测，其中进出水 COD_{Cr} 分别为 146.7~841.3 mg/L 和 38.0~269.2 mg/L；COD_{Cr} 的去除率为 25.0~87.7%，其中有 7d 的处理效果低于 60%，结果如图 3-3 所示。

由于试运行期间污水 COD_{Cr} 过高，而且也增加了部分营养源，70% 采样时段污水 COD_{Cr} 超过设计进水 COD_{Cr} 的设计浓度，其中最高值达 841.3mg/L，因此，对本处理厂造成了较严重的有机负荷冲击，导致出水水质不达标。

3.3.4 试运行阶段污水 BOD₅ 处理效果

试运行期间（8~10 月）进出水的 BOD₅ 分别为 91.3~312.0 mg/L 和 3.3~38.9 mg/L，BOD₅ 的去除率为 67.79~98.73 %。

由于试运行期间污水处理系统尚未稳定，特别是在试运行初期（8 月 16 日~8 月 21 日），系统的处理能力尚未成熟，且进水 BOD₅ 的浓度变化较大（91.3~148.1mg/L），系统暂未能适应，导致出水的 BOD₅ 超标，且 BOD₅ 的去除率也低于设计的去除率范围。8 月 26 日~8 月 31 日，进水水质为 178.4~271.3 mg/L，系统再次受到进水水质不稳定因素的冲击，尽管去除率在 87.52~91.90 % 之间，出水再次略有超标（19.4~24.7mg/L）。9 月份后，进水水质虽有不同程度的冲击，但出水水质也基本达标，证明该污水处理系统基本成熟，能满足不同负荷范围内的进水水质波动。

试运行期间进出水 BOD₅ 浓度变化和 BOD₅ 的去除率变化如图 3-4 所示。

3.3.5 试运行阶段污水 NH₄⁺-N 处理效果

试运行期间进出水 NH₄⁺-N 浓度变化和 NH₄⁺-N 的去除率变化如图 3-5 所示。结果表明，进出水 NH₄⁺-N 的浓度分别为 5.39~50.67 mg/L 和 1.67~12.94 mg/L，去除率为 51.04~86.67 %。

由于试运行期间污水水质不太稳定，三个月内进水的浓度变化几乎相差 10

倍，因此在微生物培养阶段和设备调试阶段， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率未能完全满足设计中 60% 的要求，出水也略有超标（超标率低于 2%）。但总体来说 CASS 系统对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 是有较好的耐冲击能力，能在一定范围内有效处理 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 。

3.3.6 试运行阶段污水 TP 处理效果

试运行期间进出水 TP 浓度变化和 TN 的去除率变化如图 3-6。从 10 月份 TP 进出水浓度的数据来看，进水基本在设计范围上下波动，偏差值不大于 50%，出水的浓度基本达标，TP 的去除率在 37.11~94.48 % 之间，说明 CASS 工艺对 TP 的处理是有效的。

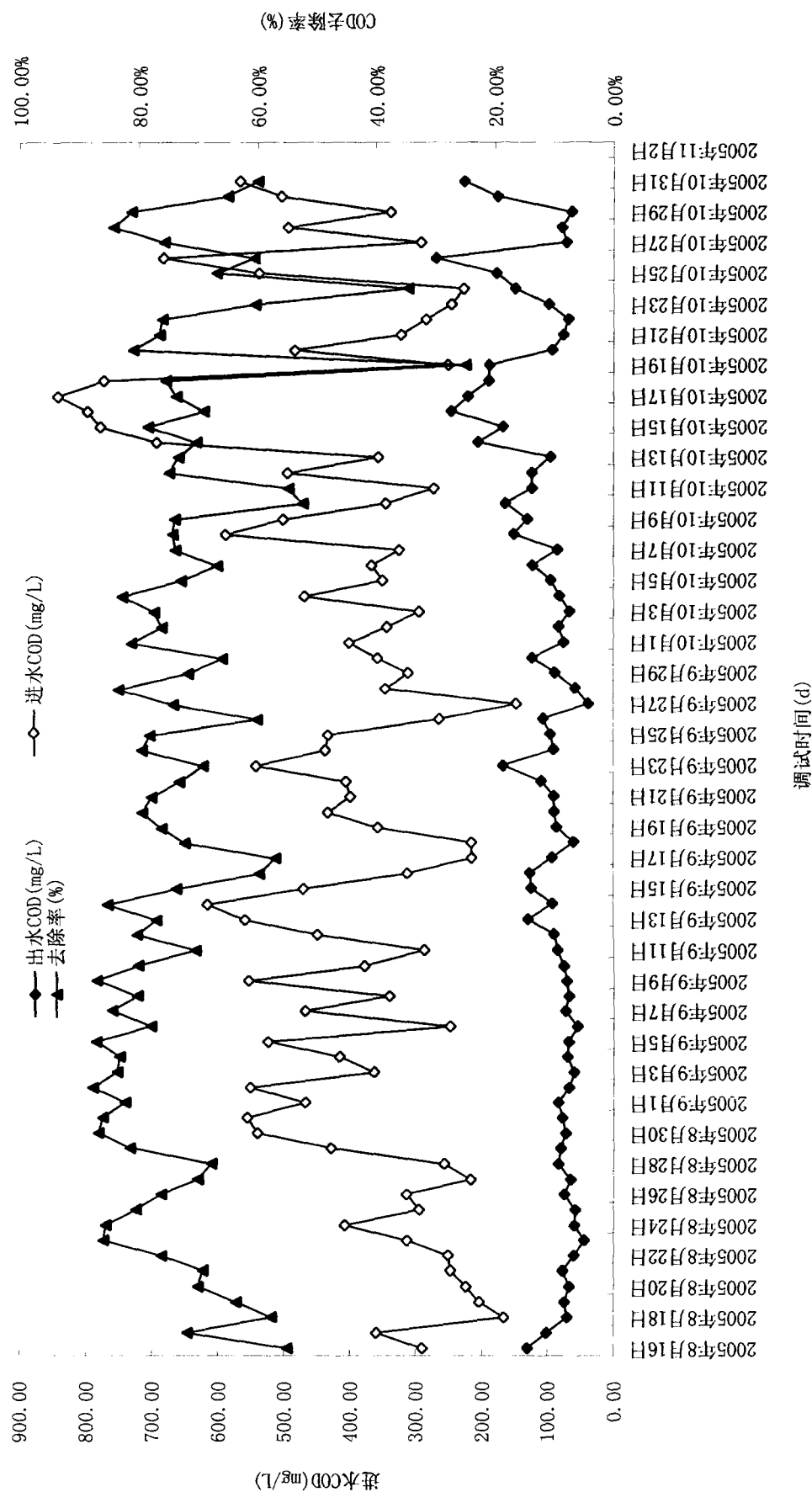


图 3-3 试运行期间污水 COD_{Cr} 处理效果
Fig. 3-3 Treatment of chemical oxygen demand in the trial-operation period

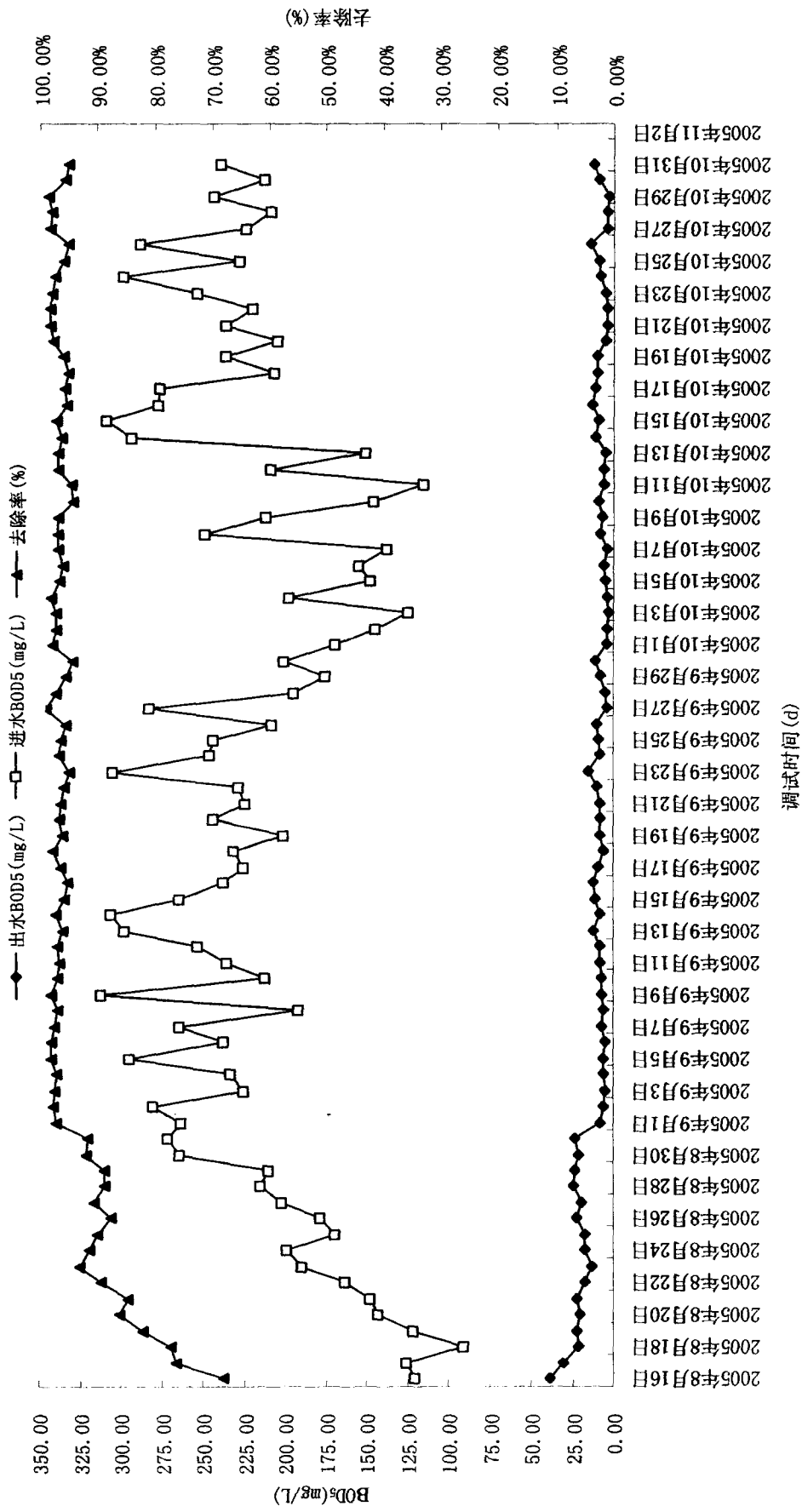


图 3-4 试运行期间污水 BOD₅ 处理效果
 Fig. 3-4 Treatment of biochemical oxygen demand in the trial-operation period

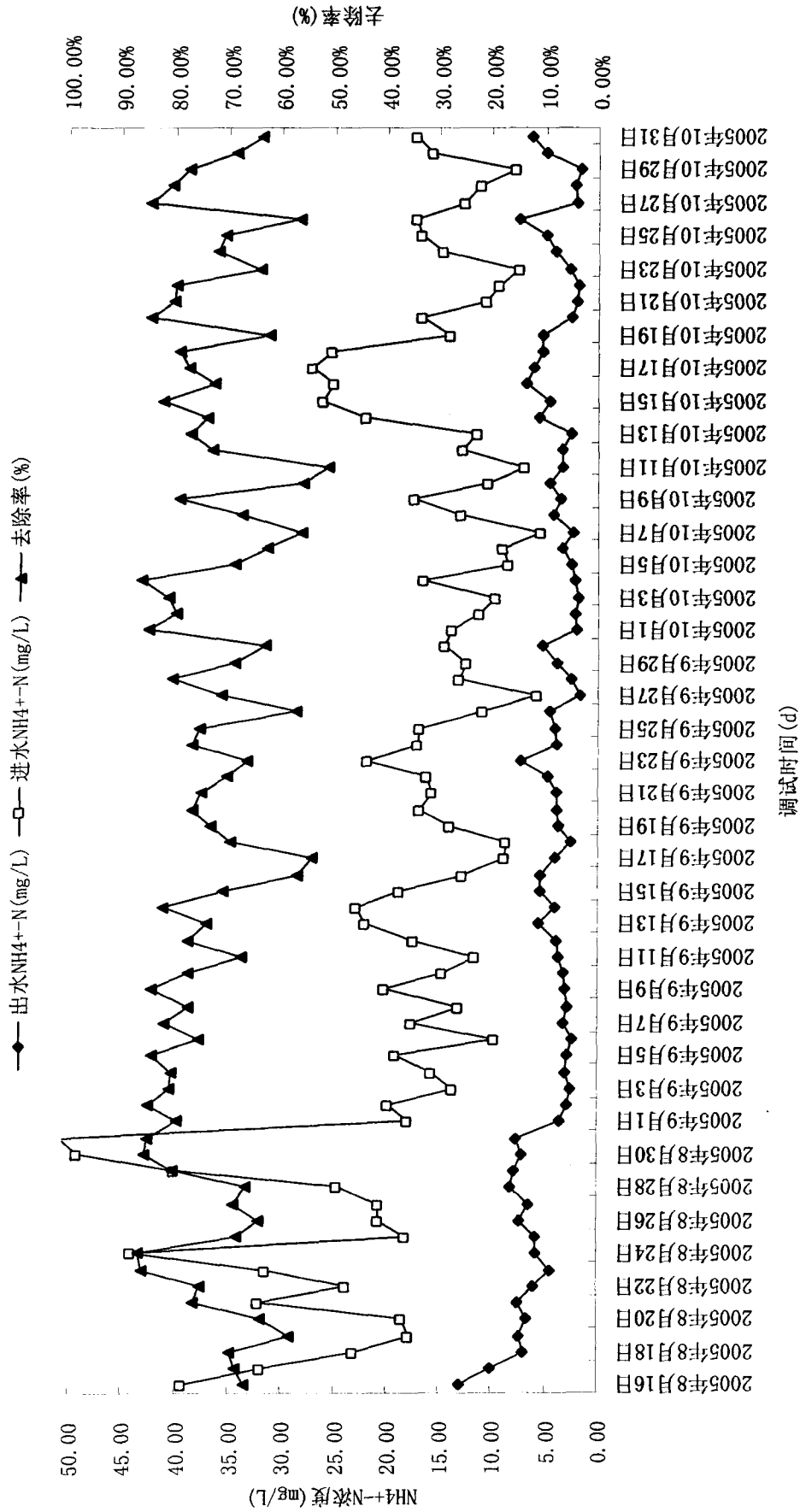


图 3-5 试运行期间污水 NH_4^+-N 处理效果
Fig. 3-5 Treatment of ammonia-nitrogen in the trial-operation period

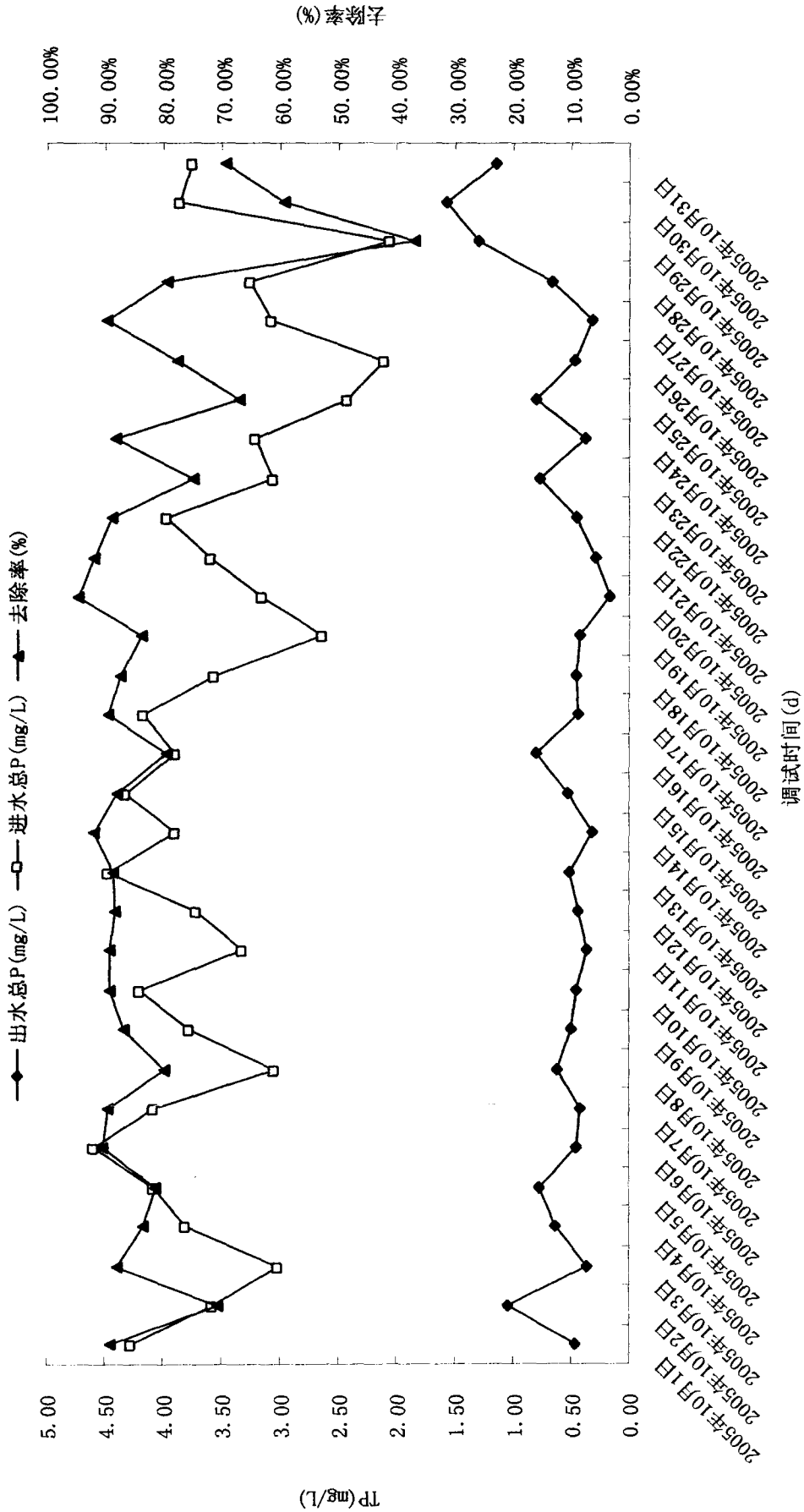


图 3-6 试运行期间污水 TP 处理效果
 Fig. 3-6 Treatment of total phosphorus in the trial-operation period

3.3.7 试运行阶段污水处理效果

对 2005 年 7 月至 11 月进出水的 pH、BOD₅、SS、COD_{Cr}、T-N、NH₄⁺-N 和 TP 等指标进行了监测，从而确定试运行阶段污水处理厂的处理效果，结果见表 3-2。

对出水的水质采用了单项水质参数评价方法中的单项标准指数法进行评估^[45]。其中 pH 的标准指数为：

$$S_{pH,j} = \frac{7.0 - pH_j}{7.0 - pH_{sd}} \quad pH_j \leq 7.0$$
$$S_{pH,j} = \frac{pH_j - 7.0}{pH_{su} - 7.0} \quad pH_j > 7.0$$

其他指标的标准指数为： $I_i = C_i / C_s$ ，式中 C_i 为实测浓度值， C_s 为标准浓度值， I_i 为评价指数。

污染等级按以下原则判别： $I_i < 1$ ，未超标；

$I_i = 1$ ，达标；

$I_i > 1$ ，超标；

出水水质监测指标的标准指数列于表 3-3。

结果表明，本污水处理厂 7 月至 10 月的试运行阶段和 11 月正常运行阶段的污水处理效果没有完全达到一级排放标准，其中 10 月的 SS 略有超标、11 月的 BOD₅ 超标、所有月份的 COD_{Cr} 均严重超标。

11 月份 COD_{Cr} 和 BOD₅ 的超标与进水水质有关，由于 11 月份该污水处理厂已正常营运，直接引入污水，没有添加营养源，因此，进水 COD_{Cr} 和 BOD₅ 值直接反映进水水质。11 月进水 COD_{Cr} 高达 600.4mg/L，比广州、深圳等城市污水处理厂进水 COD_{Cr} 高 4 至 5 倍^[5,6,46,47]。经调查发现，该市污水处理厂处理片区内的部分工厂排污严重超标，最终影响了本污水处理厂的处理效果。

表 3-2 试运行阶段污水处理效果

Table 3-2 Removal ratios of the pollutants in the trial-operation period

单位(mg/L 或 t, pH 除外)

月份	pH	BOD ₅	COD _{Cr}	SS	NH ₄ ⁺ -N	T-N	TP
进水平均值(mg/L)	5.2	160	341.4	52.5	28	39	4.8
7月 出水平均值(mg/L)	6.4	17.6	58.7	12	8.3	13.2	0.8
去除污染物总量(t)		40.44	80.29	11.5	5.59	7.33	1.14
进水平均值(mg/L)	5.3	172	352	55	29.6	41	5.1
8月 出水平均值(mg/L)	6.4	15.6	52.3	10.5	7.4	12.2	0.7
去除污染物总量(t)		77.42	148.35	22.02	10.99	14.26	2.18
进水平均值(mg/L)	5.2	173.94	308.8	57	28.7	39	3.4
9月 出水平均值(mg/L)	6.3	9.17	97.13	11.3	7.2	12.5	0.4
去除污染物总量(t)		99.3	127.56	27.54	12.96	15.97	1.8
进水平均值(mg/L)	5.1	265.41	626.24	65	28.7	39	3.52
10月 出水平均值(mg/L)	6.4	6.4	121.1	21.5	7.2	12.5	0.52
去除污染物总量(t)		95.98	187.18	16.12	12.96	15.97	1.11
进水平均值(mg/L)	5.2	280.05	600.4	63	28.7	39	4.18
11月 出水平均值(mg/L)	6.3	25.8	107.9	11.65	7.2	12.5	0.73
去除污染物总量(t)		91.25	176.33	18.43	12.96	15.97	1.24

表 3-3 出水标准指数

Table 3-3 Index of the pollutants concentration and discharge standard

月份	pH	BOD ₅	COD _{Cr}	SS	NH ₄ ⁺ -N	T-N	TP
7月	0.60	0.88	1.47	0.60	0.83	0.88	0.80
8月	0.60	0.78	1.31	0.53	0.74	0.81	0.70
9月	0.70	0.46	2.42	0.57	0.72	0.83	0.40
10月	0.60	0.32	3.03	1.08	0.72	0.83	0.52
11月	0.70	1.29	2.70	0.58	0.72	0.83	0.73

3.3.8 污水处理设施正常运行后污水处理效果

该污水处理厂 11 月正式投入试运营后, 从该月的进出水数据分析, 实际进水的的水质与设计水质相差很大, 特别是 COD_{Cr} 的浓度比原设计高出了 4~5 倍。其主要原因是污水处理厂处理片区内的部分工厂排污严重超标, 有些工厂的生产废水甚至没有经过任何处理就直接排放, 且排放的日平均浓度也相差较大, 不仅给污水处理系统带来超负荷的运转, 而且对系统造成也很大的冲击。

有鉴于此, 为了使污水处理厂能够正常运行, 总承包单位连同污水处理厂业主和该市监测站等领导对污水处理厂处理片区内排水超标的厂企进行了严格的整顿: 对于有废水处理设施但没正常运行的厂企给与技术支持, 使其在规定的期限内基本能够达标排放; 对于有废水处理设施但完全没有使用的厂企进行罚款批评, 并勒令其必须使用废水处理设施, 且须在规定的期限内达标排放, 否则停产; 对于完全没有废水处理设施的小型厂企, 勒令立刻停产, 直至完善废水处理设施并能达标排放为止。

同时, 总承包单位针对该污水处理厂进水的特点, 在进水渠增加了 COD_{Cr} 在线监测仪, 便于及时发现高浓度进水, 以采取临时防御措施, 保护污水处理系统, 并对污水处理系统的各阶段运行时间进行了调整, 增加其耐负荷冲击能力。

经过以上的整改和将近 3 个月的调整, 至 2006 年 2 月中, 污水处理厂的出水基本能够达标。2006 年 2 月 23、24 日, 该市环境监测站对该厂进出水进行了检测, 表 3-4 和 3-5 是该两天的检测数据。结果表明, 污水处理厂的进水已基本达到设计标准, 出水也相当稳定, 可达标排放。该污水处理厂各水质指标和设备已基本进入正常运行状态。

表 3-4 处理前废水监测结果

Table 3-4 Pollutant concentrations of wastewater before treatment

监测项目	化学需氧量(COD _{Cr})	生化需氧量(BOD ₅)	悬浮物(SS)	动植物油	石油类	阴离子表面活性剂	T-N (以N计)	NH ₄ ⁺ -N (以N计)	TP (以P计)	色度	pH	总铜	六价铬	总砷	总铅
8:50	341	173	165.0	18.08	5.22	0.60	30.120	19.08	3.201	60	6.38	0.464	<0.004	0.010	<0.2
23日 采样 时间	316	243	75.0	17.64	5.67	0.12	26.032	17.41	3.113	54	6.36	0.422	<0.004	0.009	<0.2
14:50	268	231	57.0	20.24	6.28	0.50	29.460	21.81	4.102	52	6.35	0.405	<0.004	0.012	<0.2
16:50	256	305	73.0	19.11	6.01	0.10	27.920	20.80	3.066	56	6.31	0.382	<0.004	0.011	<0.2
日平均值	295	238	92.5	18.77	5.80	0.33	28.383	19.78	3.370	56	6.35	0.418	<0.004	0.010	<0.2
8:50	244	177	114.0	19.02	5.20	0.53	26.130	17.97	4.042	47	6.32	0.398	<0.004	0.007	<0.2
24日 采样 时间	376	136	81.0	19.64	5.63	0.10	27.100	18.12	2.843	50	6.34	0.407	<0.004	0.009	<0.2
14:50	302	368	162.0	22.79	6.02	0.64	31.340	20.58	3.440	54	6.29	0.468	<0.004	0.010	<0.2
16:50	318	307	82.0	20.66	5.83	0.14	25.220	18.03	3.041	56	6.37	0.327	<0.004	0.009	<0.2
日平均值	310	247	109.8	20.53	5.67	0.35	27.448	18.68	3.342	52	6.33	0.400	<0.004	0.009	<0.2
二日平均值	302	242.5	101.2	19.65	5.74	0.34	27.916	19.23	3.356	54	6.34	0.409	<0.004	0.010	<0.2

单位: mg/L(pH除外)

表 3-5 处理后废水监测结果

Table 3-5 Pollutant concentrations of wastewater after treatment

监测项目	单位: mg/L(pH 除外)													流量 (m ³ /次)		
	化学需氧量 (COD _{Cr})	生化需氧量 (BOD ₅)	悬浮物 (SS)	动植物油	石油类	阴离子表面活性剂	T-N (以N计)	NH ₄ ⁺ -N (以N计)	TP(以P计)	色度	pH 值	总铜	六价铬		总砷	总铅
23 日	39.2	13.1	10.0	2.40	0.90	0.64	11.860	7.63	0.422	15	6.74	0.379	0.024	<0.007	<0.2	1232
10:50 采样	37.4	13.8	13.0	1.63	0.92	0.09	9.795	6.77	0.383	20	6.59	0.345	0.023	<0.007	<0.2	1281
14:50 时间	38.8	13.2	11.0	2.47	1.02	0.55	9.987	6.96	0.397	21	6.62	0.282	0.020	<0.007	<0.2	1261
16:50 时间	37.9	14.8	9.0	2.52	1.07	0.06	13.400	7.85	0.480	23	6.56	0.216	<0.004	0.008	<0.2	1301
日平均值	38.3	13.7	10.8	2.26	0.98	0.34	11.260	7.30	0.420	20	6.63	0.306	0.017	<0.007	<0.2	1269
24 日	38.6	14.8	8.0	2.01	0.76	0.67	9.840	6.98	0.381	20	6.69	0.296	<0.004	<0.007	<0.2	1261
10:50 采样	36.9	12.5	14.0	2.07	0.83	0.07	13.120	7.90	0.410	18	6.61	0.239	<0.004	0.007	<0.2	1212
14:50 时间	39.8	15.5	12.0	2.33	0.89	0.57	12.780	7.44	0.296	21	6.53	0.340	<0.004	<0.007	<0.2	1330
16:50 时间	38.7	18.9	10.0	2.52	0.91	0.10	12.080	7.76	0.466	20	6.72	0.287	<0.004	<0.007	<0.2	1242
日平均值	38.5	15.4	11.0	2.23	0.85	0.35	11.955	7.52	0.388	20	6.64	0.290	<0.004	<0.007	<0.2	1261
二日平均值	38.4	14.6	10.9	2.24	0.92	0.34	11.608	7.41	0.404	20	6.64	0.298	0.008	<0.007	<0.2	1265
评价标准值	40	20	20	10	5	5.0	-	10	-	40	6~9	0.5	0.5	0.5	1.0	
评价结果	达标	达标	达标	达标	达标	达标		达标		达标	达标	达标	达标	达标	达标	
参照标准值	60	20	20	3	3	1	20	8(15)	1.5	30	6~9	0.5	0.05	0.1	0.1	
评价结果	达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标	

注: 1. 评价标准执行环评报告表提出的广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB44 / 26-2001)第二阶段一级标准;

2. 参照标准执行现行的国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级标准的 B 标准。

4 CASS 反应池活性污泥微生物特性

4.1 实验方法

4.1.1 生化系统微生物采样

取无菌玻璃瓶，于 CASS 生化池水面下 50cm 处取混合液进行细菌总数、酵母总数和霉菌总数测定。

项目试运行至验收期间每天采集生化池水样进行显微镜检测。

4.1.2 细菌总数测定

生化池水样稀释 10^3 倍、 10^4 倍、 10^5 倍、 10^6 倍和 10^7 倍后，分别取各稀释液 1mL 接种于培养皿中，倒平板，于 37°C 生化培养箱中培养 24h 后，选取菌落数在 30~300 个之间的培养物进行计数，每个稀释倍数做 5 个平行样。

取 100mL 水样水浴至残留少量水后，于 105°C 烘箱中烘至恒重，称量水样中活性污泥的干重，计算生化池水样中每克干污泥的细菌总数。

细菌培养基：牛肉膏 5g/L，蛋白胨 10g/L，NaCl 5g/L，琼脂 15g/L，pH 7.0。

4.1.3 酵母菌总数测定

生化池水样稀释 10^2 倍、 10^3 倍、 10^4 倍和 10^5 倍后，分别取各稀释液 1mL 接种于培养皿中，倒平板，于 30°C 生化培养箱中培养 48h 后，选取菌落数在 30~300 个之间的培养物进行计数，每个稀释倍数做 5 个平行样。

取 100mL 水样水浴至残留少量水后，于 105°C 烘箱中烘至恒重，称量水样中活性污泥的干重，计算生化池水样中每克干污泥的酵母菌总数。

酵母菌培养基：葡萄糖 20g/L，酵母浸出粉 5g/L，蛋白胨 5g/L，琼脂 15g/L，pH5.5。

4.1.4 霉菌总数测定

生化池水样稀释 10^2 倍、 10^3 倍、 10^4 倍和 10^5 倍后，分别取各稀释液 1mL 接种于培养皿中，倒平板，于 30°C 生化培养箱中培养 72h 后，选取菌落数在 30~300 个之间的培养物进行计数，每个稀释倍数做 5 个平行样。

取 100mL 水样水浴至残留少量水后，于 105°C 烘箱中烘至恒重，称量水样中活性污泥的干重，计算生化池水样中每克干污泥的霉菌总数。

霉菌培养基：蔗糖 30g/L， NaNO_3 2g/L， $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 1g/L，KCl 0.5g/L， $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5g/L， FeSO_4 0.01g/L，琼脂 15g/L。

4.2 实验结果

4.2.1 试运行阶段生化池微生物总数

选取菌落数在 30~300 个之间的培养物进行计数后，计算每克干污泥的微生物总数，见表 4-1。结果表明，生化池中，每克干污泥的细菌、酵母菌和霉菌总数分别为 $1.4 \times 10^{10} \sim 5.8 \times 10^{10}$ ， $1.7 \times 10^7 \sim 4.8 \times 10^7$ 和 $6.4 \times 10^5 \sim 9.5 \times 10^6$ 。利用狄克逊（Dixon）法分别对这 3 类微生物总数的最小值和最大值进行一致性检验并剔除离群值。检验结果显示，监测结果均属正常值。对检验后的实验数据进行统计，结果如表 4-2，CASS 池细菌、酵母菌和霉菌总数分别为 $(3.2 \times 10^{10} \pm 1.6 \times 10^{10}, 51.4)$ CFU/g 污泥、 $(3.0 \times 10^7 \pm 1.1 \times 10^7, 37.9)$ CFU/g 污泥 和 $(4.4 \times 10^6 \pm 3.4 \times 10^6, 77.9)$ CFU/g 污泥；3 类微生物的样本相对标准偏差分别 51.4%、37.9% 和 77.9%，虽然样本相对标准偏差值较大，但是培养结果仍然是理想的。因为，活性污泥中微生物的数量测定影响因素多^[48-50]，如不同科属的微生物在培养基中的适应时间不等；即使是同种的微生物，处于不同生长周期时，适应时间也不一样；制备不同菌体浓度的活性污泥菌悬液时，菌胶团中的微生物充分离散的难度大等^[51,52]。

表 4-1 试运行阶段生化池水样微生物总数

Table4-1 Microbial amounts of activated sludge in the trial-operation period

微生物种类 序号	细菌 (CFU/g 污泥)	酵母菌 (CFU/g 污泥)	霉菌 (CFU/g 污泥)
1	1.4×10^{10}	1.7×10^7	6.4×10^5
2	1.7×10^{10}	2.0×10^7	8.9×10^5
3	2.2×10^{10}	2.1×10^7	2.6×10^6
4	2.7×10^{10}	2.9×10^7	3.2×10^6
5	3.9×10^{10}	3.6×10^7	4.5×10^6
6	4.7×10^{10}	3.7×10^7	6.6×10^6
7	5.8×10^{10}	4.8×10^7	7.4×10^6
8	—	—	9.5×10^6

狄克逊 (Dixon) 法检验最小可疑值和最大可疑值

	Q 值	结果	Q 值	结果	Q 值	结果
最小可疑值	0.068	正常	0.097	正常	0.037	正常
最大可疑值	0.250	正常	0.355	正常	0.244	正常

注：①若 $Q \leq Q_{0.05}$ ，则可疑值为正常值；若 $Q_{0.05} < Q \leq Q_{0.01}$ ，则可疑值为偏离值；若 $Q > Q_{0.01}$ ，则可疑值为离群值。

②样本容量 $n=7$ 时， $Q_{0.05}=0.507$ ， $Q_{0.01}=0.637$ ；样本容量 $n=8$ 时， $Q_{0.05}=0.554$ ， $Q_{0.01}=0.683$ 。

表 4-2 试运行阶段生化池水样微生物总数统计

Table4-2 Microbial amounts of activated sludge in the trial-operation period

微生物种类 序号	细菌 (CFU/g 污泥)	酵母菌 (CFU/g 污泥)	霉菌 (CFU/g 污泥)
算术均数	3.2×10^{10}	3.0×10^7	4.4×10^6
样本标准偏差	1.6×10^{10}	1.1×10^7	3.4×10^6
样本相对标准偏差%	51.4	37.9	77.9
CASS 池微生物总数 (CFU/g 污泥)	$3.2 \times 10^{10} \pm 1.6 \times 10^{10}$, 51.4	$3.0 \times 10^7 \pm 1.1 \times 10^7$, 37.9	$4.4 \times 10^6 \pm 3.4 \times 10^6$, 77.9

4.2.2 正常运行阶段生化池微生物总数

正常运行期,生化池中每克干污泥的细菌、酵母菌和霉菌总数如表 4-3 所示,分别为 $2.0 \times 10^{10} \sim 7.1 \times 10^{10}$, $3.5 \times 10^6 \sim 5.2 \times 10^7$ 和 $1.6 \times 10^6 \sim 2.9 \times 10^7$ 。利用狄克逊 (Dixon) 法分别对这 3 类微生物总数的最小值和最大值进行一致性检验后,剔除了霉菌总数最大值 2.9×10^7 。经统计, CASS 池细菌、酵母菌和霉菌总数分别为 $(4.2 \times 10^{10} \pm 1.8 \times 10^{10}, 44.2)$ CFU/g 污泥、 $(2.5 \times 10^7 \pm 1.8 \times 10^7, 73.1)$ CFU/g 污泥 和 $(3.6 \times 10^6 \pm 2.6 \times 10^6, 72.4)$ CFU/g 污泥; 3 类微生物的样本相对标准偏差分别 44.2%、73.1%和 72.4%。

表 4-3 正常运行阶段生化池水样微生物总数

微生物种类 序号	细菌 (CFU/g 污泥)	酵母菌 (CFU/g 污泥)	霉菌 (CFU/g 污泥)
1	2.0×10^{10}	3.5×10^6	1.6×10^6
2	2.3×10^{10}	1.1×10^7	1.6×10^6
3	3.5×10^{10}	1.3×10^7	2.9×10^6
4	4.1×10^{10}	2.4×10^7	4.7×10^6
5	4.2×10^{10}	4.7×10^7	5.8×10^6
6	5.9×10^{10}	5.2×10^7	8.8×10^6
7	7.1×10^{10}	—	2.9×10^7

狄克逊 (Dixon) 法检验最小可疑值和最大可疑值	Q 值	结果	Q 值	结果	Q 值	结果
最小可疑值	0.059	正常	0.155	正常	0	正常
最大可疑值	0.235	正常	0.103	正常	0.737	离群, 删除该值

注: ①若 $Q \leq Q_{0.05}$, 则可疑值为正常值; 若 $Q_{0.05} < Q \leq Q_{0.01}$, 则可疑值为偏离值; 若 $Q > Q_{0.01}$, 则可疑值为离群值。

②样本容量 $n=6$ 时, $Q_{0.05}=0.560$, $Q_{0.01}=0.698$; 样本容量 $n=7$ 时, $Q_{0.05}=0.507$, $Q_{0.01}=0.637$ 。

培养和统计分析表明,该污水处理厂试运行期和正常营运期 3 大类微生物的

总数相差不大，对应类型的微生物均处于相同的数量级，结果见表 4-4。从样本相对标准偏差判断，细菌总数的偏差值较小，分别为 51.4%和 44.2%；酵母菌总数的偏差值相差较大，分别为 37.9%和 73.1%；而霉菌总数的偏差值较大，分别为 77.9%和 72.4%。这是因为，细菌的细胞结构简单，生长繁殖方式单一，主要以二等分裂的方式繁殖^[31,53]，因此，细菌的培养结果的相对差异较小；而酵母菌的繁殖方式多样，有芽殖、裂殖、产无性孢子等无性生殖方式和产子囊孢子等有性繁殖方式，因而不同酵母菌的营养体和孢子在培养基中的生长时间存在较大的差异^[54-56]，所以样本相对标准偏差值差别较大；霉菌的代时长，菌丝体的形态更加多样^[57,58]，所以样本相对标准偏差较大。

表 4-4 CASS 池微生物总数统计

Table 4-4 Microbial amounts of activated sludge in the operation period

微生物种类	细菌	酵母菌	霉菌
序号	(CFU/g 污泥)	(CFU/g 污泥)	(CFU/g 污泥)
算术均数	4.2×10^{10}	2.5×10^7	3.6×10^6
样本标准偏差	1.8×10^{10}	1.8×10^7	2.6×10^6
样本相对标准偏差%	44.2	73.1	72.4
CASS 池微生物总数 (CFU/g 污泥)	$4.2 \times 10^{10} \pm 1.8 \times 10^{10}$, 44.2	$2.5 \times 10^7 \pm 1.8 \times 10^7$, 73.1	$3.6 \times 10^6 \pm 2.6 \times 10^6$, 72.4

4.2.3 生化池污泥形态和微生物培养物形态

利用光学显微镜对生化池活性污泥的形态进行观察，发现试运行约 2 周后，污泥的形态开始稳定，能观察到水丝蚓等后生动物。污泥菌胶团形态见图 4-1~图 4-5，结果表明，活性污泥结构稳定，由不种种类的微生物组成，100 倍光学显微镜可见的微生物包括原生动物、后生动物和少量丝状微生物。其中原生动物优势种主要有钟虫、累枝虫、盾纤虫、变形虫和衣壳虫；后生动物的优势种主要有旋轮虫和水丝蚓。图 4-5 拍摄了水丝蚓的两端，每侧有血管四条的末端，形成血管网，营呼吸作用。水丝蚓又叫丝蚓、线虫、红虫、红线虫，是活性污泥常见

的后生动物，通常每节有刚毛四束，见图 4-4。当数量处于合适的范围时，水丝蚓可以促进活性污泥的更新，防止污泥老化。

图 4-7 的轮虫是污水生物处理中，营自由生活的常见原生动动物。身体为长形，分头部、躯干及尾部。头部有一个由 2 圈纤毛组成的、能转动的轮盘，形如车轮故叫轮虫。轮盘为轮虫的运动和摄食器官，咽内有一个几丁质的咀嚼器。躯干呈圆筒形，背腹扁宽，具刺或棘，外面有透明的角质甲腊。尾部末端有分叉的趾，内有腺体分泌粘液，因此，轮虫可附着于菌胶团中。污水处理系统中的轮虫以细菌、霉菌、酵母菌、藻类、原生动动物及有机颗粒为食，可以使出水更加澄清。

钟虫呈吊钟形，钟口盘状口区周围有一肿胀的镶边，其内缘着生三圈反时针旋转的纤毛。口盘与镶边均能向内收缩。口自镶边内缘斜入体内，有一振动的波动膜。大核马蹄形，小核粒状，见图 4-8。身体反口面的顶端有一长柄，用以附着基质，内有肌束，当虫体收缩时，也可螺旋状卷曲。活性污泥中的钟虫通过转动口周纤毛，产生局部水流，从而使虫体附近游离的微生物和有机物颗粒流入口中。

图 4-9 的曲霉可见孢子头和分生小梗。细菌、酵母菌和霉菌的菌落形态见图 4-10~图 4-27，培养皿大小为 9cm。在同一培养皿中，菌落形态不同的微生物，种类也不相同。利用平行划线法，分离纯种微生物可用于进一步研究活性污泥中细菌、酵母菌和霉菌的种类。1 株细菌的染色细胞形态如图 4-28 所示。

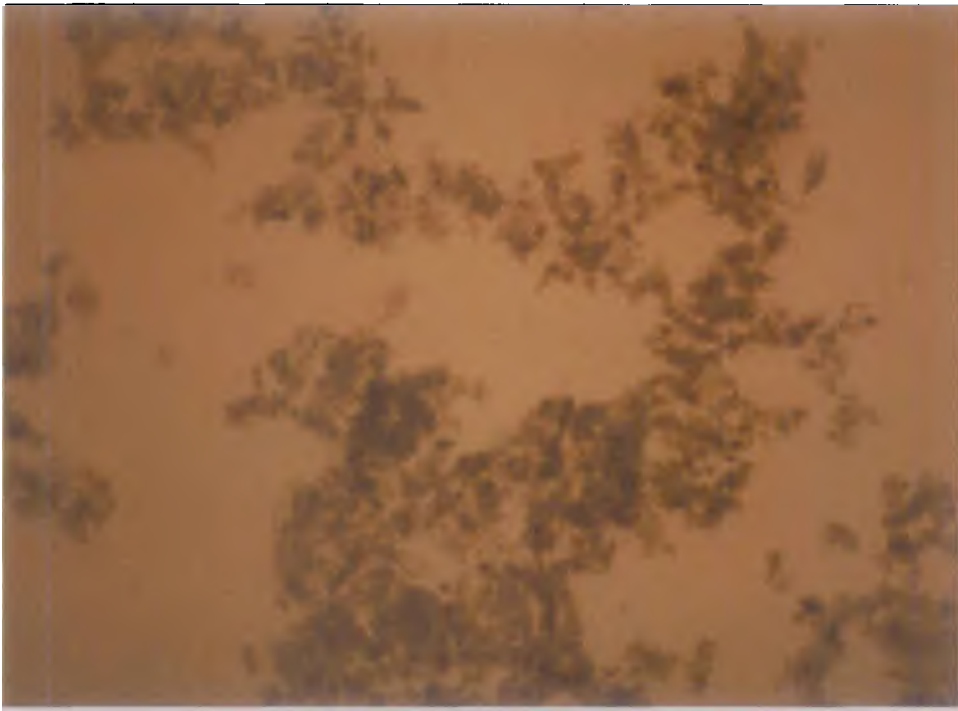


图 4-1 菌胶团($\times 100$)

Fig. 4-1 Morphology of zoogloea($\times 100$)

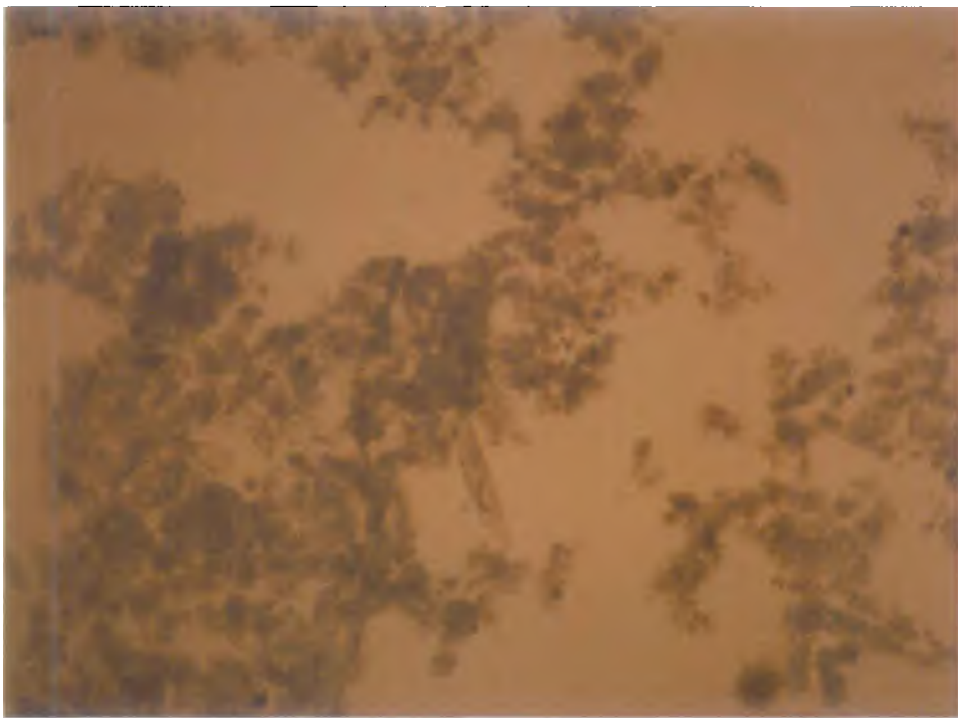


图 4-2 菌胶团($\times 100$)

Fig. 4-2 Morphology of zoogloea($\times 100$)

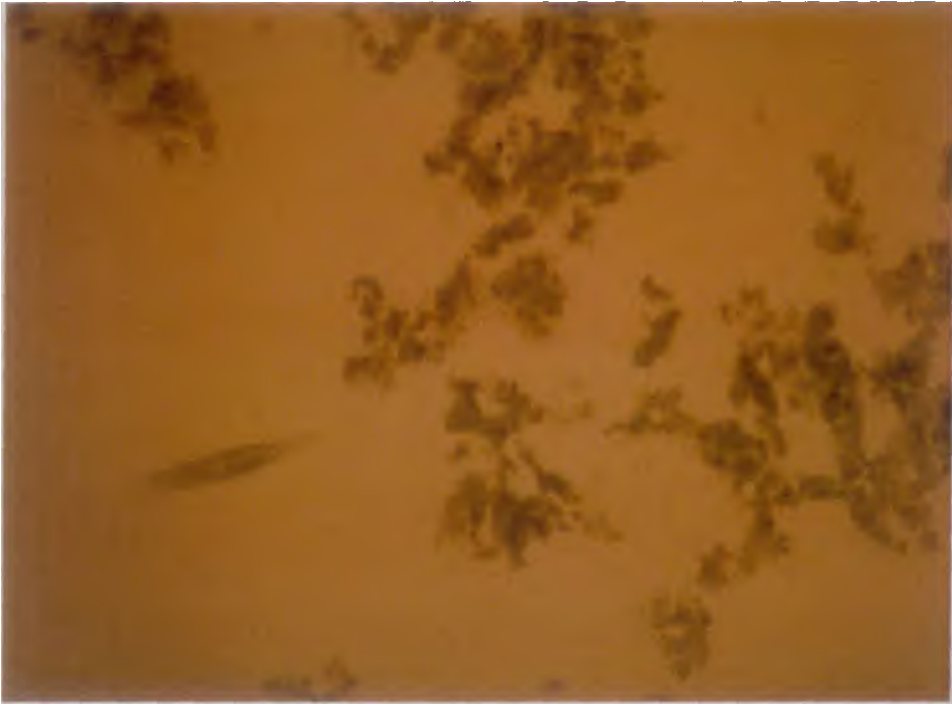


图 4-3 菌胶团($\times 100$)

Fig. 4-3 Morphology of zoogloea($\times 100$)

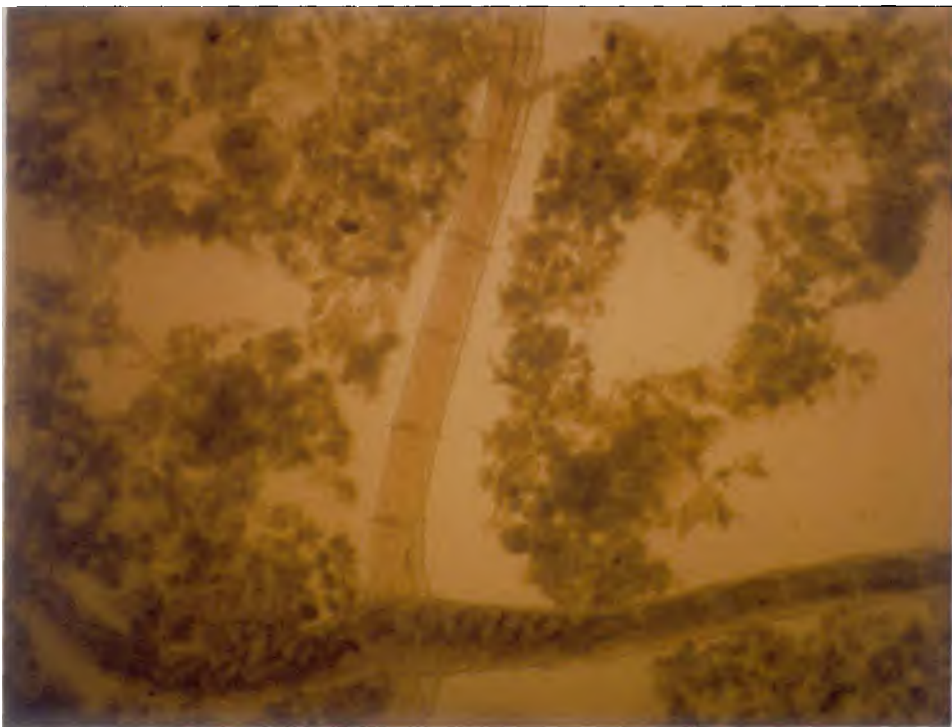


图 4-4 菌胶团及水丝蚓($\times 100$)

Fig.4-4 Morphology of zoogloea and *Limnodrilus*($\times 100$)

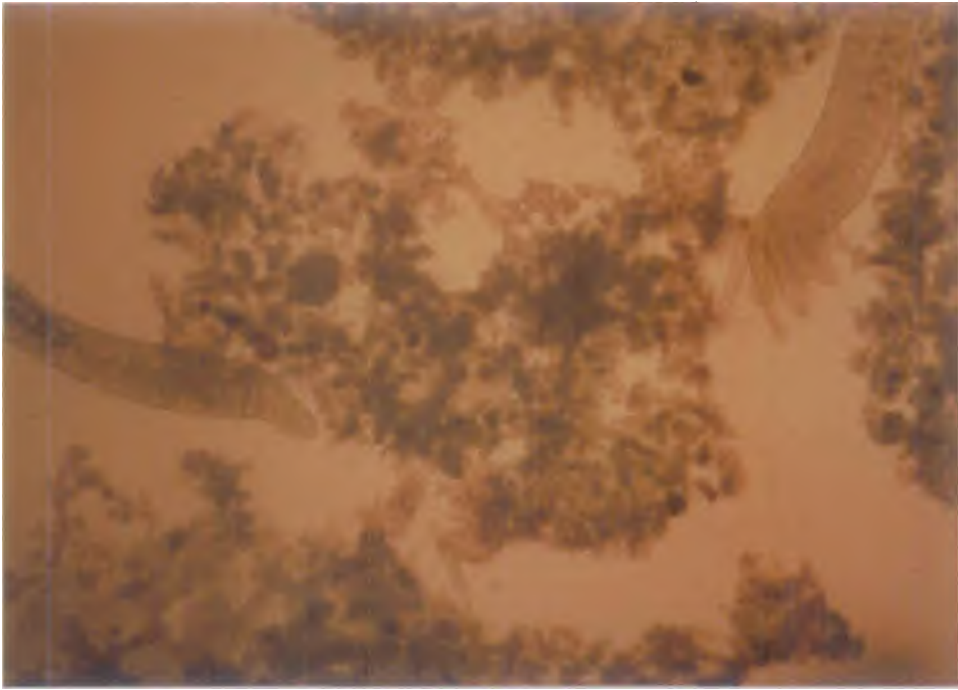


图 4-5 菌胶团及水丝蚓($\times 100$)

Fig. 4-5 Morphology of zoogloea and *Limnodrilus*($\times 100$)



图 4-7 旋轮虫($\times 400$)

Fig. 4-7 *Rotifera* sp($\times 400$)



图 4-8 钟虫($\times 1000$)

Fig. 4-8 *Vorticella* sp($\times 1000$)

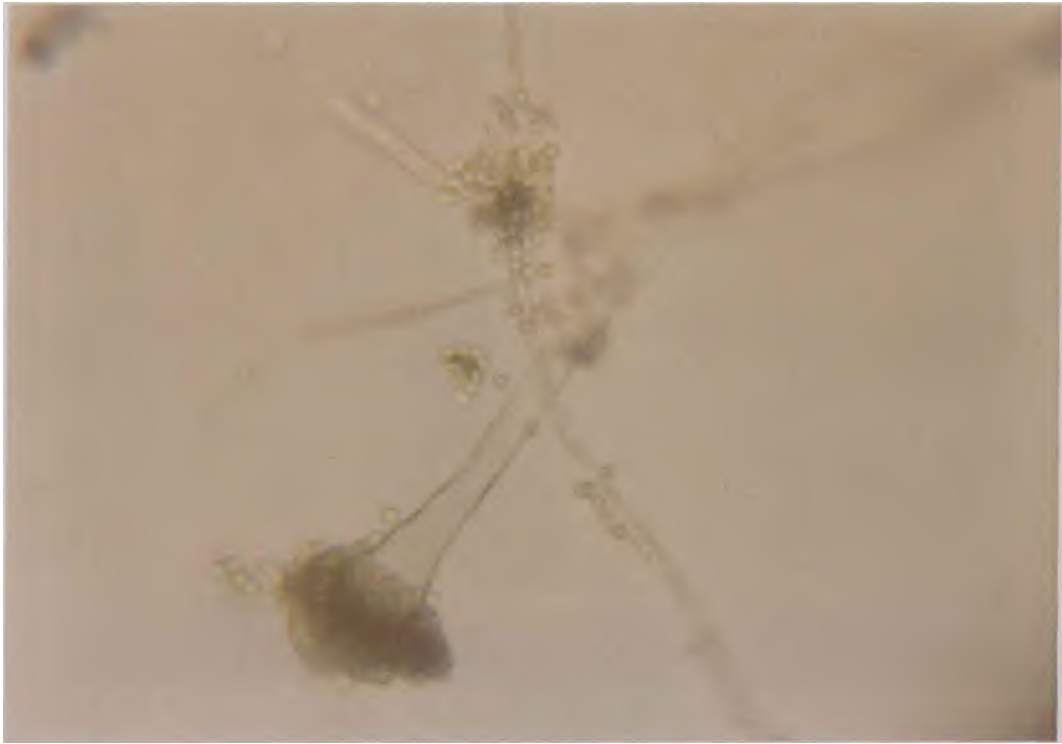


图 4-9 曲霉($\times 1000$)
Fig. 4-9 *Aspergillus* sp. ($\times 1000$)



图 4-10 霉菌培养物
Fig. 4-10 Morphology of mould

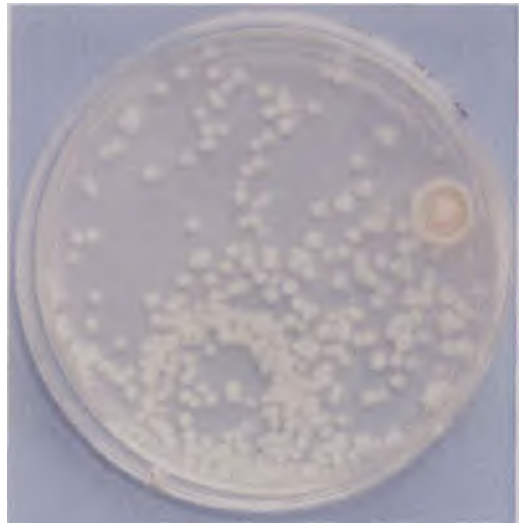


图 4-11 霉菌培养物
Fig. 4-11 Morphology of mould



图 4-12 霉菌培养物
Fig. 4-12 Morphology of mould



图 4-13 霉菌培养物
Fig. 4-13 Morphology of mould

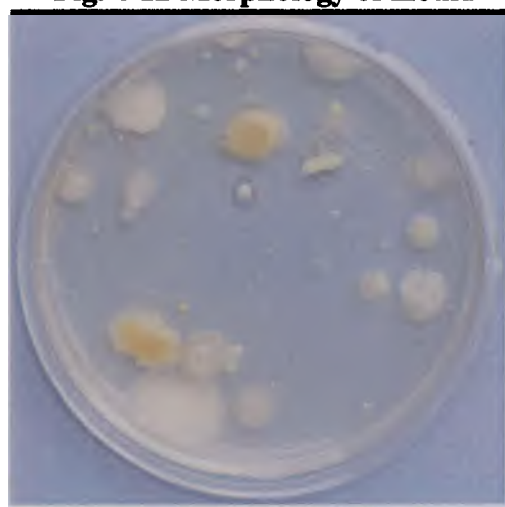


图 4-14 酵母菌培养物
Fig. 4-14 Morphology of yeast

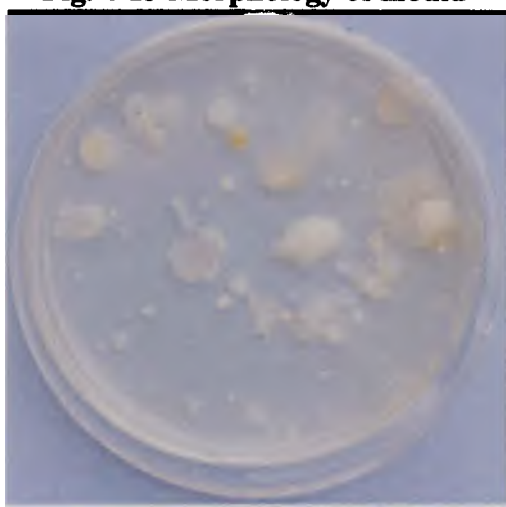


图 4-15 酵母菌培养物
Fig. 4-15 Morphology of yeast

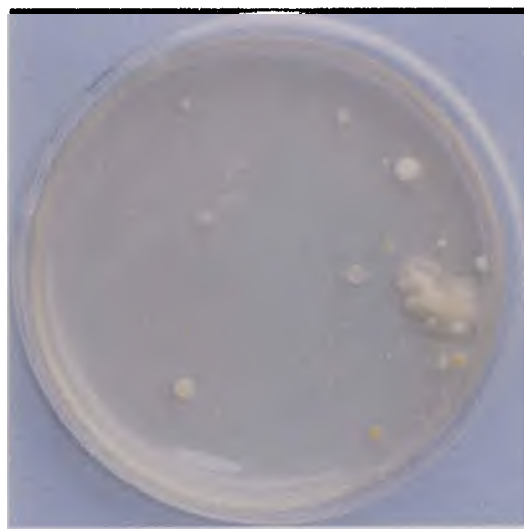


图 4-16 细菌培养物
Fig. 4-16 Morphology of bacteria



图 4-17 霉菌平板分离

Fig. 4-17 Morphology of separated mould



图 4-18 霉菌平板分离

Fig. 4-18 Morphology of separated mould



图 4-19 酵母菌平板分离

Fig. 4-19 Morphology of separated yeast



图 4-20 酵母菌平板分离

Fig. 4-20 Morphology of separated yeast



图 4-21 酵母菌平板分离

Fig. 4-21 Morphology of separated yeast



图 4-22 酵母菌平板分离

Fig. 4-22 Morphology of separated yeast

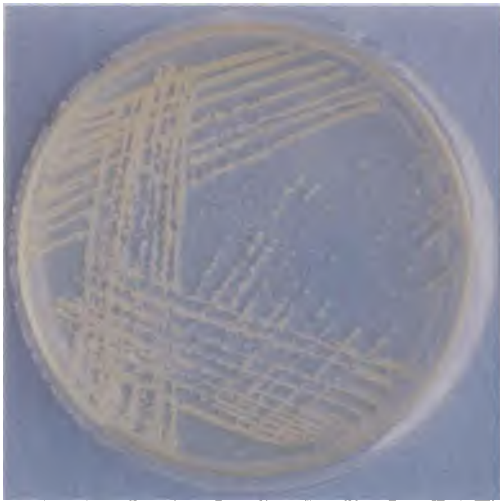


图 4-23 细菌平板分离

Fig. 4-23 Morphology of separated bacteria



图 4-24 细菌平板分离

Fig. 4-24 Morphology of separated bacteria



图 4-25 细菌平板分离

Fig.4-25 Morphology of separated bacteria



图 4-26 细菌平板分离

Fig. 4-26 Morphology of separated bacteria



图 4-27 细菌平板分离

Fig. 4-27 Morphology of separated bacteria



图 4-28 细菌染色图片(×1000)

Fig. 4-28 Morphology of stained bacteria

5 结 论

- (1) 佛山市某城市污水处理厂占地 1.96 公顷, 首期工程静态总投资 2049.21 万元, 日处理污水 2 万 m^3 。主要构筑物包括粗格栅井、污水提升泵房、细格栅渠、旋流沉砂池、CASS 池、鼓风机房、贮泥池和污泥堆棚等。生化系统采用 CASS 工艺, 剩余污泥浓缩脱水后进行卫生填埋。2005 年 4 月, 污水处理厂完成大部分基建项目, 5 月完成单机调试和验收, 5 月 31 日投入活性污泥, 开始试运行。
- (2) 污水处理厂的 CASS 反应池由生物选择区、兼氧区和主反应区等三个区域组成。进行污水处理时, 在反应池中交替进行进水、曝气、沉淀和出水等过程, 每个周期的运行时间为 4 h, 其中进水、曝气 2 h, 沉淀和滗水各 1 h。
- (3) 2005 年 5 月污水处理厂完成单机调试和验收后, 于 5 月 31 日开始活性污泥驯化, 并以 pH、 BOD_5 、 COD_{Cr} 、SS、T-N、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 等物理化学指标和微生物定性定量指标为考察对象, 开展了为期 9 个月的工艺运行测试、系统性能研究和微生物特性研究。2005 年 8 月至 10 月的试运行阶段, 进水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 浓度分别为 146.7~841.3 mg/L、91.3~312.0 mg/L、5.39~50.67 mg/L 和 2.06~4.59 mg/L, 对应地, 出水浓度分别为 38.0~269.2 mg/L、3.3~38.9 mg/L、1.67~12.94 mg/L 和 0.17~1.57 mg/L。
- (4) 正常运行并优化工艺后, 污水处理厂的进水已基本达到设计标准, 出水稳定, 可达标排放。
- (5) 以细菌、酵母菌、霉菌、原生动物和后生动物为研究对象, 较系统地开展了 CASS 反应池活性污泥微生物的数量、形态和类型研究, 从微生物的角度讨论了 CASS 工艺的效果性能。结果表明, 污泥培养成熟后, CASS 反应池中的菌胶团结构稳定, 微生物数量与类型处于较理想的平衡状态, 其中原生动物优势种主要有钟虫、累枝虫、盾纤虫、变形虫和衣壳虫等; 后生动物的优势种主要有旋轮虫和水丝蚓等。试运行期每克污泥中, 细菌、酵母菌和霉菌

总数分别为 $(3.2 \times 10^{10} \pm 1.6 \times 10^{10}, 51.4)$ CFU、 $(3.0 \times 10^7 \pm 1.1 \times 10^7, 37.9)$ CFU 和 $(4.4 \times 10^6 \pm 3.4 \times 10^6, 77.9)$ CFU；正常运行阶段每克污泥中，细菌、酵母菌和霉菌总数分别为 $(4.2 \times 10^{10} \pm 1.8 \times 10^{10}, 44.2)$ CFU、 $(2.5 \times 10^7 \pm 1.8 \times 10^7, 73.1)$ CFU 和 $(3.6 \times 10^6 \pm 2.6 \times 10^6, 72.4)$ CFU。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴-2005[M].北京:中国统计出版社, 2005.
- [2] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴-2006[M].北京:中国统计出版社, 2006.
- [3] 中华人民共和国国家环境保护总局.2005年中国环境状况公报[EB/OL].
<http://www.sepa.gov.cn/plan/zkgb/05hjgb>, 2006年7月27日.
- [4] 人民网.国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要[EB/OL].
<http://theory.people.com.cn/GB/41179/41232/4210880.html>, 2006年3月17日.
- [5] 广东省环境保护局.2005年广东省环境状况公报[EB/OL].
http://www.gdepb.gov.cn/zwxx/hbzkgb/gongbao/2005/t20060605_41475.html, 2006年6月5日
- [6] 广东省环境保护局.广东省碧水工程计划[EB/OL]. http://www.gdepb.gov.cn/hjgl/ghjh/jihua/t20051009_3211.html, 2005年10月9日.
- [7] 广东省环境保护局.广东省碧水工程计划项目表[EB/OL]. <http://www.gdepb.gov.cn/zlxz/yewuwenjian/P020061019601596339563.doc>, 2004年9月1日.
- [8] 广东省环境保护局.广东省碧海行动计划[EB/OL]. <http://www.gdepb.gov.cn/hjgl/ghjh/zlxz/P020051017795401077771.doc>, 2005年10月17日.
- [9] 熊红权,李文彬. CASS 工艺在国内的应用现状[J].中国给水排水, 2003,19(2): 34-35.
- [10] 李颖,郭爱军,赵国华. CASS 工艺处理高氨氮污水的脱氮设计[J]. 给水排水, 2006, 32(5):5-8.
- [11] Damian Dominguez, Willi Gujer. Evolution of a wastewater treatment plant challenges traditional design concepts[J]. Water research,2006, 40 (7):1389-1396.
- [12] E. Vaiopoulou, P. Melidis, A. Aivasidis. An activated sludge treatment plant for integrated removal of carbon, nitrogen and phosphorus[J]. Desalination, 2007, 211(1-3):192-199.

- [13] 陈克玲,詹键. CAST工艺处理城市污水原理及设计[J]. 环境科学与技术,2004, 27(4):71-73,83.
- [14] 李善评,乔鹏, 庞艳,等. UASB-CASS 工艺处理糠醛废水[J]. 给水排水, 2007, 33(1):53-55.
- [15]孙春玲,崔兆杰,侯薇,等.气浮—厌氧滤池—CASS工艺处理植物油废水[J].中国给水排水,2006,22(18):52-54.
- [16] Constantino Masciopinto. Biodegradation of wastewater nitrogen compounds in fractures: Laboratory tests and field observations[J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2007.
- [17] Udo Pagga, Jürgen Bachner, Uwe Strotmann . Inhibition of nitrification in laboratory tests and model wastewater treatment plants[J]. Chemosphere, 2006, 65(1): 1-8.
- [18] Lyliam Loperena, Mario Daniel Ferrari, Verónica Saravia, *et al.* Performance of a commercial inoculum for the aerobic biodegradation of a high fat content dairy wastewater[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(5): 1045-1051.
- [19] María Eugenia Suarez-Ojeda, Albert Guisasola, Juan A. Baeza, *et al.* Integrated catalytic wet air oxidation and aerobic biological treatment in a municipal WWTP of a high-strength o-cresol wastewater[J]. Chemosphere, 2007, 66(11):2096-2105.
- [20] 陈威, 刘艳萍, 江小林.增城市污水处理厂改良CASS工艺设计[J].市政技术, 2005, 23(5):318-320.
- [21] 高廷东, 林王春, 申清,等. UAS B-CAS S 工艺处理脱墨漂白浆废水研究[J]. 给水排水, 2004, 30(8):58-60.
- [22] 欧阳云生, 杨立中. 污水处理CASS工艺中自控系统的设计[J].西南给排水, 2006, 28(3):39-41.
- [23] 郭庆英,申蓁,徐保祥. CAST 工艺中的鼓风机选型问题[J]. 中国给水排水, 2004,20(6):22-23.
- [24] 高守有, 彭永臻, 孔祥智,等. 几种滗水器形式及运行机理[J]. 给水排水, 2003, 29(9):61-64.
- [25] 苏锦明, 周晴, 傅金祥,等.新型一体化M-CASS设备的研究与开发[J].工业用水与废水, 2004,35(3):72-75.
- [26] E. Vaiopoulou, P. Melidis, A. Aivasidis. An activated sludge treatment plant for

- integrated removal of carbon, nitrogen and phosphorus[J]. *Desalination*, 2007, 211 (1-3): 192-199.
- [27] 朱杰, 付永胜. 生物脱氮处理过程中氮素转化规律的研究[J]. *环境化学*, 2006, 25 (5): 624-628.
- [28] 祖波, 张代钧, 白玉华. 厌氧氨氧化菌特性及其在生物脱氮中的应用[J]. *微生物学通报*, 2006,33(1):149-153.
- [29] Young Mo Kim, Donghee Park, Dae Sung Lee, *et al.* Instability of biological nitrogen removal in a cokes wastewater treatment facility during summer[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2007,141(1):27-32.
- [30] M. Rodgers, M.G Healy, J. Prendergast. Nitrification in a vertically moving biofilm system[J]. *Journal of Environmental Management*, 2006, 79(3): 242-246.
- [31] Ross E McKinney. *Environmental pollution control microbiology*[M]. New York:Marcel Dekker, Inc.,2004.310-327.
- [32] L. Y. Lee, S. L. Ong, W. J. Ng. Biofilm morphology and nitrification activities: recovery of nitrifying biofilm particles covered with heterotrophic outgrowth[J]. *Bioresource Technology*, 2004, 95(2):209-214.
- [33] 李金页, 郑平, 梅玲玲. 反硝化除磷工艺及其特点[J]. *科技通报*, 2006, 22(6): 882-886.
- [34] D.P. Cassidy, E. Belia. Nitrogen and phosphorus removal from an abattoir wastewater in a SBR with aerobic granular sludge[J]. *Water Research*, 2005, 39(19): 4817-4823.
- [35] Lars D Hylander, Agnieszka Kietlinska, Gunno Renman, *et al.* Phosphorus retention in filter materials for wastewater treatment and its subsequent suitability for plant production[J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97 (7) :914 - 921.
- [36] 佛山年鉴编纂委员会. 佛山年鉴-2005. 佛山:佛山年鉴社,2005.
- [37] 佛山市政府网.佛山概况[EB/OL]. http://www.foshan.gov.cn/fsgovout/11661/catalog_1873.aspx.
- [38] 佛山市规划局.佛山市城市总体规划[EB/OL]. <http://www.foshan.gov.cn/fsgovout/Web/Article/2006/08/11/1058472125C166979.aspx>, 2006年8月11日.
- [39] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法

(第四版). 北京: 中国环境科学出版社,2002.

[40] A.L. Amaral, E.C. Ferreira. Activated sludge monitoring of a wastewater treatment plant using image analysis and partial least squares regression[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2005, 544:246-253.

[41] M.S. Moussa, C.M. Hooijmans, H.J. Lubberding, *et al.* Modelling nitrification, heterotrophic growth and predation in activated sludge[J]. *Water Research*, 2005, 39(20): 5080-5098.

[42] Y.P. Ginoris, A.L. Amaral, A. Nicolau, *et al.* Development of an image analysis procedure for identifying protozoa and metazoa typical of activated sludge system[J]. *Water Research*, 2007, 41(12):2581-2589.

[43] Chul Park, John T. Novak. Characterization of activated sludge extracellular polymers using several cation-associated extraction methods[J]. *Water Research*, 2007, 41(8):1679-1688.

[44] Rachel Dimock, Eberhard Morgenroth. The influence of particle size on microbial hydrolysis of protein particles in activated sludge[J]. *Water Research*, 2006, 40(10):2064-2074.

[45] 国家环境保护总局.环境影响评价技术导则-地面水环境 (HJ/T2.3-93) [S].

[46] 林敏兰,隋军,程瑾,等. UN ITANK工艺在猎德污水厂的应用[J]. *中国给水排水*,2005, 21 (3):66-69.

[47] 陈运进. 猎德污水处理厂UN ITANK工艺的运行效果[J]. *中国给水排水*, 2006, 22(2): 93-95.

[48] Andrew J. Schuler, Hoon Jang. Density effects on activated sludge zone settling velocities[J]. *Water Research*, 2007, 41(8):1814-1822.

[49] Hyeok Choi, Kai Zhang, Dionysios D. Dionysiou, *et al.* Effect of activated sludge properties and membrane operation conditions on fouling characteristics in membrane bioreactors[J]. *Chemosphere*, 2006, 63(10):1699-1708.

[50] Mats Ekman, Berndt Björleinius, Mikael Andersson. Control of the aeration volume in an activated sludge process using supervisory control strategies[J]. *Water Research*, 2006, 40(8):1668-1676.

[51] Hongyan Li, Min Yang, Yu Zhang, *et al.* Nitrification performance and microbial

- community dynamics in a submerged membrane bioreactor with complete sludge retention[J]. *Journal of Biotechnology*, 2006,123(1):60-70.
- [52] Lorenzo Bertin, Serena Capodicasa, Fabio Occulti, *et al.* Microbial processes associated to the decontamination and detoxification of a polluted activated sludge during its anaerobic stabilization[J]. *Water Research*, 2007, 41(11): 2407-2416.
- [53] Wai K. Ma, Alexandra Schautz, Lee-Ann E. Fishback, *et al.* Assessing the potential of ammonia oxidizing bacteria to produce nitrous oxide in soils of a high arctic lowland ecosystem on Devon Island, Canada[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(8): 2001-2013.
- [54] Andrzej Heim, Urszula Kamionowska, Marek Solecki. The effect of microorganism concentration on yeast cell disruption in a bead mill[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 83(1): 121-128.
- [55] F. F. Beltran, R. Castillo, J. Vicente-Soler, *et al.* Role for trehalase during germination of spores in the fission yeast *Schizosaccharomyces pombe* [J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2000, 193(1): 117-121.
- [56] S. Karasu Yalçın, Z. Y. Özbas. Effects of different substrates on growth and glycerol production kinetics of a wine yeast strain *Saccharomyces cerevisiae* Narince 3[J]. *Process Biochemistry*, 2004, 39(10): 1285-1291.
- [57] J.P. Essien, E.J. Akpan, E.P. Essien. Studies on mould growth and biomass production using waste banana peel[J]. *Bioresource Technology*, 2005, 96(13): 1451-1456.
- [58] Maria Victoria Criado, Virginia E. Fernández Pinto, Alicia Badessari, *et al.* Conditions that regulate the growth of moulds inoculated into bottled mineral water[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2005, 99(3): 343-349.

在学期间发表的论文

- [1] 屈艳芬, 叶锦韶, 尹华. 生物过滤法处理城市污水处理厂臭气. 生态科学, 2005, 24(1): 18-20
- [2] 屈艳芬, 叶锦韶, 尹华, 彭辉, 张娜. 生物吸附剂-活性污泥法吸附处理含铬电镀废水. 生态科学, 2006, 25 (4): 335-338
- [3] 屈艳芬, 叶锦韶, 尹华. 城市污水厂恶臭的生物过滤处理系统设计和运行. 中国给水排水, 2007, 23(4): 35-38

致 谢

本论文是在尹华教授和叶锦韶讲师的悉心指导和帮助下完成的。在论文研究期间，从实验研究、数据分析至论文定稿的整个过程中，两位老师从百忙之中给与了悉心的指导、莫大的支持和鼓励，使我不断得到提高和进步，在此，向两位老师表示衷心的感谢和祝福！

本论文研究的污水处理厂是本人曾经工作的单位广东华南环保投资股份有限公司（本项目的总承包方）承包的项目之一，在污水厂工作期间，得到了污水处理厂领导、相关工作人员和公司领导、员工的大力支持和配合，在此一并向他们致以衷心的感谢！

同时，谨借此文完成之际，向我的家人致以由衷的感激，是他们给与了我莫大的精神动力、关心和支持，才使我得以完成三年的学习和论文工作。

最后，向所有曾经帮助和支持我的老师、朋友和家人表示最诚挚的谢意！

屈艳芬