

国外污水处理厂改造工程实例分析

张 辰 李春光

(上海市市政工程设计研究总院, 上海 200092)

摘要 对国外 4 座污水处理厂改造工程实例进行了分析研究, 通过对原有工艺流程改造, 部分单元采用新技术、新工艺, 调整工艺参数等改造方案, 在充分利用原有污水处理设施的前提下, 满足了处理水量增加或水质标准提高的要求。

关键词 国外污水处理厂 升级改造 原有设施利用 工程实例

Example analysis of the renovation project of foreign WWTP

Zhang Chen, Li Chunguang

(Shanghai Municipal Engineering Design General Institute, Shanghai 200092, China)

Abstract: Four foreign WWTP renovation projects are studied in the WWTP upgrading and retrofitting project research. Based on the existing process, many renovation plans can be employed, such as the adoption new technology and new process in partial process and the adjustment of operation parameters. So the existing treatment facilities can be utilized by the most to satisfy the improved requirement of water quality standard and the increasing wastewater quantity.

Keywords: Foreign WWTP; Upgrading and retrofitting; Existing facilities; Project example

0 前言

我国污水处理厂的数量逐年增加, 随着污水处理厂排放标准的不断提高和国家对节能减排工作的日益重视, 为达标和节能而进行的改造工程设计将成为污水处理厂设计的主要工作。了解和学习国外污水处理厂的改造技术和经验, 有助于更好地结合污水处理厂的特点, 对其实际运行进行调查分析, 采取既切实可行, 又经济合理的改造措施。

1 匈牙利南佩斯污水处理厂

1.1 污水处理厂介绍

南佩斯污水处理厂始建于 1966 年, 规模为 3 万 m^3/d , 采用高负荷活性污泥工艺, 曝气池 HRT 为 2.5 h。污水处理厂原处理流程包括两条分支, 每条分支有 8 个生物反应器作为曝气池, 并联运行。20 世纪 80 年代初, 该污水处理厂进行了扩建, 新增了两个处理流程, 每个流程仍包括两条分支, 每条分支仍设 8 个曝气池, 污水处理厂平面布置见图 1。

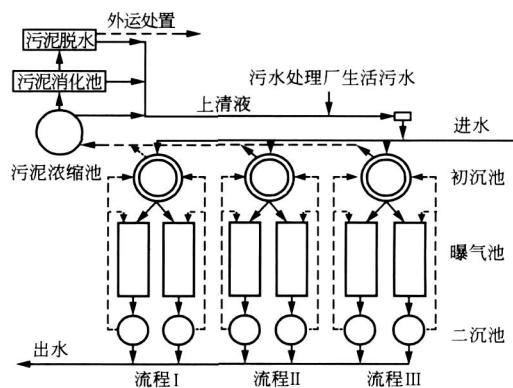


图 1 扩建后的污水处理厂平面布置

20 世纪 80 年代末, 匈牙利制定了更为严格的水质排放标准, 相应推动了新的处理工艺和技术的研发。污水处理厂除了要满足新的水质标准外, 其处理水量也大幅增长, 同时污泥量的增加, 使污泥处理设施无法满足需求, 迫切需要改造。在这种情况下, 布达佩斯城市污水公司承担了污水处理厂的改

建工程。

1.2 改造技术

经过试验研究,将原有的 8 个曝气池由并联改为串联,而且在整个反应器的前 1/4 区域增设厌氧区,以获得生物除磷的效果。原并联流程和改造后的串联流程示意图 2。

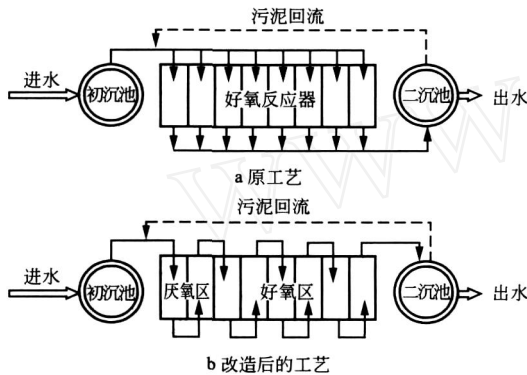


图 2 改造前后的工艺流程示意

1.3 改造效果

改造后的系统运行数据表明,SVI 比较低且稳定,约为 100 mL/g。该结果与理论预测和试验数据非常吻合,将反应器由并联布置改为串联布置增加了系统的处理阶段,进而改善了污泥的沉降性能。

出水 COD_{Cr} 的变化情况表明,系统的改造改善了有机物的去除效果,有机物的降解更加彻底,原系统出水 COD_{Cr} 为 100 mg/L,改造后降至 70 mg/L。

运行过程没有达到预期的生物除磷效果,经分析是由于微生物吸收的磷中有 60 %随污泥处理上清液又回流到系统,通过采用投加石灰化学沉淀除磷的工艺,系统的除磷效果有明显改善,但出水中磷的浓度随着回流污泥中硝酸盐浓度的升高而增加。

改造后的系统仍不能实现有效的硝化和除磷,还需进一步改进。

1.4 进一步的技术改造

由于污水处理厂面积有限,没有考虑扩建现有活性污泥单元,而采用能完成硝化和反硝化的生物滤池系统。在进水 COD_{Cr} 为 500 mg/L, TN 为 40 mg/L, TP 为 7 mg/L 的情况下,采用新工艺后,出水中 COD_{Cr} 为 50 mg/L, TN 为 10 mg/L, TP 为 1 mg/L。工艺要求反硝化段应尽可能多地利用进水

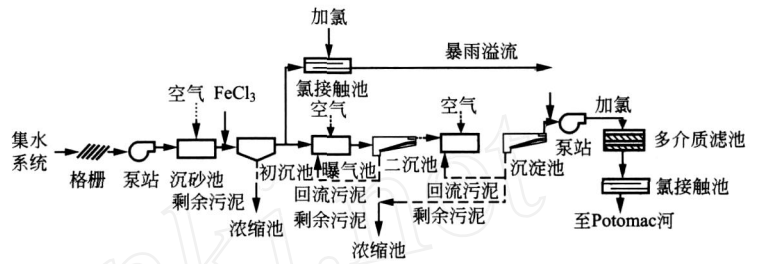


图 3 Blue Plains 污水处理厂原工艺流程

中的有机碳,由于二沉池可承担的负荷有限,硝化液回流比受到限制,工艺采用后置反硝化的布置方式,并在反硝化滤池内投加甲醇作碳源以彻底去除污水中的硝酸盐。此外,系统除磷通过强化沉淀实现。

2 美国华盛顿 Blue Plains 污水处理厂

2.1 污水处理厂介绍

Blue Plains 污水处理厂位于美国哥伦比亚区,污水流量为 $16.2 \text{ m}^3/\text{s}$,采用硝化处理工艺,工艺流程见图 3,包括预处理、初沉池、高负荷活性污泥系统、二级硝化活性污泥系统、多介质滤池和消毒处理,出水排放 Chesapeake 海湾。

2.2 改造要求

在经济发展的同时,Chesapeake 海湾河口和流水体的水质不断恶化,主要原因是点源或非点源过量营养物质(氮和磷)的排放。Blue Plains 污水处理厂是向 Chesapeake 海湾排放氮污染物的最大点源,因此哥伦比亚特区政府参与签署了 Chesapeake 海湾协议,协议规定,到 2000 年每年向海湾排放的营养物应至少比 1985 年减少 40 %,需要对 Blue Plains 污水处理厂进行改造,使其具有脱氮功能。保证夏季(5~10月)出水 TN 低于 5.55 mg/L,冬季低于 8.58 mg/L,还要求满足排放标准中的各项指标, BOD_5 和 TSS 要达到 5 mg/L 和 7 mg/L,TP 为 0.18 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 夏季为 1 mg/L,冬季为 6.5 mg/L。

2.3 改造方案介绍

改造工程将原 12 条处理分支中的 6 条改为硝化-反硝化运行模式,另外 6 条仍保持硝化模式。每条处理分支由 5 个完全混合反应器串联而成,在第 4 个(夏季)或第 5 个(冬季)反应器内投加纯净的甲醇作为反硝化的补充碳源。工艺的关键是保证前 3 个反应器内实现硝化,为反硝化提供硝酸盐,改造后

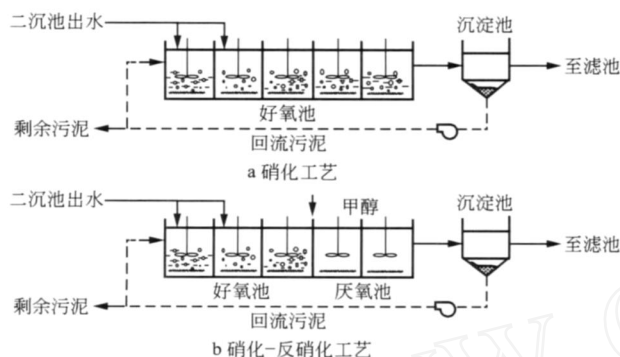


图4 改造后的运行方式示意

的运行方式见图4。

当系统以硝化模式运行时,5个反应器内均进行曝气,以硝化-反硝化模式运行时,投加甲醇的反应器内不曝气,为反硝化提供缺氧条件。污水经反硝化后在第5个反应器内进行再曝气,经一条长的出水渠输送至沉淀池。该工艺可利用原有的设施,不需进行硝化液回流和其他特殊的改动。

2.4 改造效果和存在问题

反硝化工艺成功地实现了每季度和全年的脱氮目标,出水中TN的年平均值为5.8 mg/L。其中冬季为5.9 mg/L,夏季为5.7 mg/L,出水各项指标均可满足水质标准。

尽管污水处理厂的改造方案在TN去除上非常成功,但是也存在以下问题:

(1) 后置反硝化工艺在运行管理上比硝化工艺更复杂,具体表现在以下几个方面:有两个处理阶段需要监测和控制;甲醇应在反应池内12个不同的位置投加;现有的甲醇储存设备体积有限;由于投加了甲醇用作反硝化菌的食料,导致剩余污泥量的增加。

(2) 由于该工艺其实是将原来的一段(硝化段)改为两段(反硝化段和硝化段),反硝化段占用了原来用于硝化的容积,从而降低了在冬季和高负荷时硝化处理的可靠性。在紧急情况下,需要停止反硝化,恢复完全硝化的工艺状况。

(3) 投加甲醇作为补充碳源,使得系统的运行成本增加。一般每年购买甲醇的费用达500万~600万美元。

(4) 氮的去除效果受工艺制约,如二沉池出水

中磷的浓度过低会限制反硝化菌的生长,如何在保证出水水质不超标的同时满足反硝化菌对磷的需要,成为目前污水处理厂管理中需要解决的一个问题。

3 美国加州 San Jose 污水处理厂

3.1 污水处理厂介绍

San Jose 污水处理厂处理规模为541 000 m³/d,采用常规二级活性污泥处理工艺,处理加州旧金山南海湾硅谷等地区的生活污水和工业废水。污水处理的季节变化很大,原因在于季节性的水果和蔬菜罐装工业的生产,每年8月下旬至9月,污水处理厂的有机负荷要比平时增加一倍,冬天的雨季高峰流量也是影响因素。夏季罐装加工对污水处理厂的负荷和操作运行带来的影响尤为明显。

污水处理厂在1978年时对原有的二级处理工艺进行改造,增加了脱氮除磷处理工艺,包括硝化反应池、硝化沉淀池、滤池和加氯消毒等设施。污水处理的工艺流程包括进水格栅、沉砂池、初沉池、普通曝气活性污泥系统(曝气池和二沉池)、硝化悬浮生长系统(硝化反应池和硝化沉淀池)、过滤进水二次提升、颗粒填料滤池、加氯消毒/除氯、后曝气,最后出水排入旧金山南部海湾。生物处理产生的剩余污泥经气浮浓缩后与初沉污泥进行厌氧消化,消化后的污泥在污泥储存池存放。工艺流程见图5。

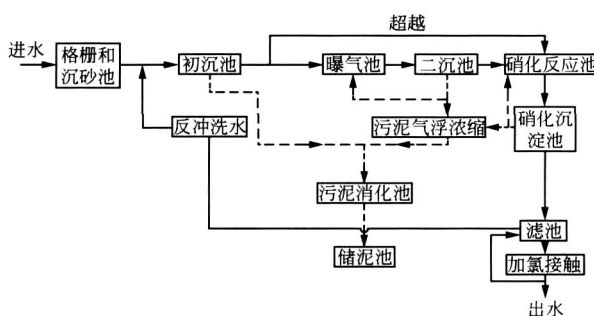


图5 污水处理厂深度处理工艺流程

污水处理厂的出水水质标准要求月平均出水BOD₅和TSS均低于10 mg/L,消毒后出水达到加利福尼亚州第22条文的规定,即浊度小于2 NTU,细菌总数小于2.3个/100 mL,氨氮低于5 mg/L。

3.2 污水处理厂改造

由于夏季罐头加工产生的冲击负荷,活性污泥系统发生丝状菌引起的污泥膨胀,导致进入硝化反

应池的污泥超过其负荷,出水 SS 浓度太高,直接影响了过滤阶段的处理效果,使出水水质远远超过排放标准。为防止污泥膨胀的再次发生,需要对污水处理厂进行改造。

3.2.1 污水处理厂分析

经调查后发现,导致污泥膨胀的首要原因是有机负荷的突然增加,使普通曝气池的供氧量不足,在 DO 浓度较低条件下,丝状菌生长引起污泥膨胀。对污水处理厂的运行分析发现,氮源不足和由于进水管中的厌氧条件产生二氧化硫也是导致污泥膨胀的因素;同时,活性污泥系统的有机负荷相对偏高,特别是在水力高峰负荷下,常规活性污泥系统和硝化处理系统间的水力条件受限;另外,污泥储存后没有考虑最终处置,影响生物系统的排泥。因此,为了控制污泥膨胀,完善污水处理厂的水力条件,保证处理工艺、设备和电气系统的可靠运行,污水处理厂须进行一系列的改造。改造工程一次规划分期实施,分为近期、中期和远期三个阶段进行。

3.2.2 近期改造措施

近期改造的目标是控制污泥膨胀,稳定运行以达到排放标准。主要措施是采用能快速安装快速使用的一些设备,虽然这些设备的运行成本较高,但运行稳定。近期改造的主要内容有:

(1) 提高供氧能力。增设了一套纯氧供氧系统,包括液态氧储存池、蒸发器、微孔曝气器、流量计和自控设备等,这些设备只在在高峰季节原有设备供氧不足时使用。运行后由于运行费用较高,增设鼓风机以增加供氧量。

(2) 投加氮源。安装了一套氨水系统,补充污水中缺乏的氮源,有利于曝气池中微生物的生长。在实际运行中,氮源并不需要连续投加,只在夏季罐头加工季节时投加。罐装工厂每天工作 16 h,产生的废水由于有机物含量高,需要补充额外的氮源,而在停产的 8 h 内废水的营养物浓度足够维持微生物的正常生长。

(3) 初沉池投加化学药剂。通过投加三氯化铁降低后续活性污泥系统的有机物负荷和需氧量,同时铁离子能与污水中的硫化物发生沉淀反应,降低后续活性污泥系统的硫化氢负荷。

(4) 污泥加氯处理。在回流污泥前进行加氯处

理,可有效地抑制丝状菌的生长,防止污泥膨胀。氯的投加剂量和投加点对丝状菌的去除效果和活性污泥絮体的影响差别较大,根据试验分析,确定在回流污泥泵进水口处加氯能获得较好的混合效果,加药量根据每日的微生物镜检情况确定。

(5) 滤池改造。首先对滤池的进水部分进行改造,减少反冲洗过程中滤料的流失,其次,增加滤池反冲洗水处理系统,包括调节池、化学混凝和沉淀,处理后的出水排至滤池进水端或直接排放。

3.2.3 中远期改造措施

中期改造将逐步更换近期改造中一些运行成本高的设施,并保持 $541\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$ 的污水处理量和达标排放;远期的改造目标是淘汰高能耗、低效率的设备,包括运行不稳定、耐用性较差的污泥处理设备,并扩建污水处理厂规模至 $632\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$ 。中期和远期改造所需增加的主要设施有:

(1) 常规二级处理系统改造。普通曝气池后增加新的二沉池,新增鼓风机设备,替代原有备用的纯氧供气系统,更换空气扩散系统设备。

(2) 深度处理系统改造。增建二级处理后续的硝化系统,包括硝化曝气池和沉淀池。

(3) 水力改造。将原有的一个污泥储泥池改造为初沉池出水调节池,并新建初级处理出水提升泵房,这样初沉出水可超越至深度处理的硝化池,在二级处理的有机负荷过高时,工艺运行更具灵活性和稳定性;改造厂内其他泵房,增加新泵和相应的电气仪表设备。

(4) 二级处理进水方式改为多点进水。该模式下污水处理厂的运行工艺更具灵活性,抗冲击负荷能力大大增强。

(5) 改造和更换厂内的机械和电气设备,使系统的运行更加安全稳定。

(6) 扩建污泥厌氧消化系统。

(7) 污泥最终处置。储泥池内的污泥在夏天进行干化处理,干化后运至填埋场。

各项改造工程在 10 年内陆续完成,改造后的污水处理厂运行更可靠,处理能力和出水水质得到改善。通过改造,污水处理厂的处理能力提高到 $632\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$,并且出水水质一直达标。

4 佛罗里达州 Orange 郡东部污水处理厂

4.1 污水处理厂介绍

佛罗里达州 Orange 郡东部污水处理厂采用改良 (5 级) Bardenpho 工艺以达到深度处理标准, 年平均 BOD_5 为 5 mg/L , TSS 为 5 mg/L , TN 为 3 mg/L , TP 为 1 mg/L 。除了部分污水再生回用外, 其他出水经人工湿地、天然湿地处理后排入地表水体。标准对季节平均值没有要求, 周平均 BOD_5 为 9.6 mg/L , TSS 为 9.6 mg/L , TN 为 6 mg/L , TP 为 2.4 mg/L 。

该污水处理厂设计处理能力为 $71\,920 \text{ m}^3/\text{d}$, 系统由两条独立的处理流程组合而成, 、处理段由 4 个并联运行的反应池和 6 座二沉池组成, 设计处理能力为 $34\,070 \text{ m}^3/\text{d}$; 处理段包括 2 个较大的并联反应池和 3 个较大的二沉池, 设计处理能力为 $37\,850 \text{ m}^3/\text{d}$, 工艺流程见图 6。

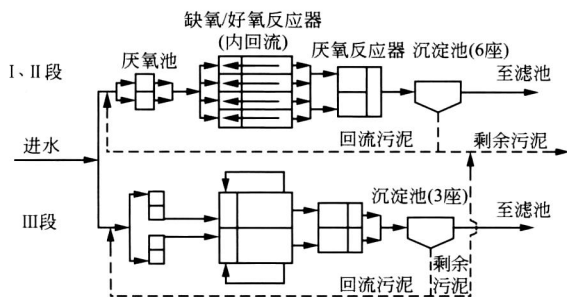


图 6 佛罗里达州 Orange 郡东部污水处理厂工艺流程

4.2 污水处理厂改造

2004 年 1 月, 该厂的出水浊度略微上升, 污泥的沉降性能有所下降, 出水 TN 上升, 经分析主要是由于 、段流程出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 上升造成。到 2 月, 数据显示 、段流程出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度升至 $4 \sim 8 \text{ mg/L}$, 、段流程中二沉池的回流污泥带有轻微的酸性气味。

在接下来的几周内, 采用便携式 TSS 测定仪测定 MLSS 和 VSS, 并用实验室测定对其进行验证, 对 DO 进行现场测定, 使用实验室方法测定 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 值等方法, 对污水处理厂的运行情况进行评估, 确定问题并采取相应的改造措施。在 2~3 月, 采取一系列改造措施:

(1) 由于 、段流程出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度上升, 并且好氧区 DO 浓度偏低, 说明曝气量无法满足有机负荷降解的需要, 故将 $2\,840 \text{ m}^3/\text{d}$ 的进水由 、段调至 段处理。

(2) 通过调整表面曝气机的浸没深度, 改善好氧区的曝气效果, 并在 、段流程中的 4 个好氧池中的 2 个附加安装浮式曝气器。

(3) 通过清除原有空气扩散器上的沉积物, 改善二次曝气区的曝气效果, 在无法清除的部位安装使用微孔空气扩散器系统。

(4) 将所有二沉池的回流污泥量由 75 % 增至 100 %, 避免回流污泥在二沉池中停留时间过长引起酸化。

(5) 增大排泥量, 降低两套流程的 MLSS 以改善反硝化效果。

改造结果表明, 、段流程出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 降低, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 降低, TN 也相应降低; 段流程的处理效果也由于 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 降低而改善, 混合出水的 TN 为 $1.8 \sim 2.2 \text{ mg/L}$, 出水浊度为 $0.6 \sim 0.8 \text{ NTU}$ 。

5 结语

本文介绍了国外 4 座污水处理厂的改造实例, 从中可以看到, 一些经济实力较强的国家的污水处理厂很注重因地制宜, 根据实际情况, 采用经济有效的措施进行达标改造, 充分利用现有设施, 使污水处理厂的构筑物和设备发挥最大的效益。

参考文献

- 1 Water Environment Federation. Upgrading and retrofitting water and wastewater treatment plants, manual of practice No. 28. New York: The McGraw-Hill Company, 2005
- 2 Water Environment Federation. Biological nutrient removal (BNR) operation in wastewater treatment plants, manual of practice No. 30. New York: The McGraw-Hill Company, 2006
- 3 Diagger G T, Buttz J A. Upgrading wastewater treatment plants. London: Technomic, 1998

& 通讯处: 200092 上海市中山北二路 901 号

收稿日期: 2008-11-26