# 大型地埋式地表水类Ⅳ类出水标准污水厂工艺设计

马　刚[1]，　张　琦[1]，　张　飞[2]
（1. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司，四川　成都　610081；2. 合肥市排水管理办公室，安徽　合肥　230000）

**摘　要：** 合肥市清溪净水厂设计规模为 $20\times10^4$ $m^3/d$，进水以市政生活污水为主。污水厂出水设计标准为地表水Ⅳ类标准，其中总氮≤5 mg/L。针对总氮排放标准严苛的要求，设计采用强化预处理＋强化二级处理＋深度处理工艺，在进一步挖掘改良 $A^2/O$ 二级处理工艺的去除能力基础上，深度处理采用后置反硝化深床滤池工艺，确保出水稳定达标。为节省用地，工程采用全地埋式设计，处理设施全部置于地下箱体内。设计选用占地面积小的处理构筑物，并将处理构筑物进行组合、叠放，地下箱体占地面积仅为 37 807 $m^2$。为保证安全运行，还设置了完善的消防、通风、除臭等设施。实际运行表明，污水厂出水水质优于设计标准。

**关键词：** 污水处理；　地埋式；　类Ⅳ类；　速沉池；　$A^2/O$ 工艺；　深度处理
**中图分类号：** TU992.3　　**文献标识码：** C　　**文章编号：** 1000－4602(2018)08－0045－06

# Design of Large-scale Underground Wastewater Treatment Plant with Effluent Standard as Surface Water Class Ⅳ

MA Gang[1]，　ZHANG Qi[1]，　ZHANG Fei[2]
(1. *Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China*, *Chengdu* 610081, *China*; 2. *Office of Drainage Administration in Hefei*, *Hefei* 230000, *China*)

**Abstract:** The designed capacity of Qingxi Wastewater Treatment Plant (WWTP) in Hefei City is $20\times10^4$ $m^3/d$. Domestic sewage occupies the main part of the influent. The quality of effluent meets the standard class Ⅳ of surface water, TN is not more than 5 mg/L. For this purpose, the combination treatment process including enhanced pretreatment, upgraded secondary treatment and advanced treatment was adopted. In order to meet the strict request for TN discharge level, denitrification filter was adopted after enhance treatment with $A^2/O$ to ensure effluent quality. To save surface land, all treatment facilities were placed in underground boxes. Treatment facilities which covers less area were adopted in this project, they were combined or stacked up to minimize the space requirement. As a result, the area of the underground boxes was only 37 807 $m^2$. For safe operation, fire extinguishing system, ventilation system, deodorization system were applied. At present, the quality of the effluent is superior to the designed standard.

**Key words:** wastewater treatment; underground; quasi class Ⅳ of surface water; speed-settling tank; $A^2/O$ process; advanced treatment

## 1　项目概况

①　工程规模和服务范围

合肥市清溪净水厂设计规模为 $20\times10^4$ $m^3/d$，一次建成，服务面积约 66 $km^2$。系统内还有一座已

建望塘污水处理厂，设计规模为 $18\times10^4$ $m^3/d$。两座污水处理厂通过厂外管线实现水量调配。

② 建设形式和用地

工程采用全地埋式设计，顶部建设市政休闲公园，面积约 $4\times10^4$ $m^2$。工程征地面积为 60 019.47 $m^2$（含代征绿地，约 90.02 亩），净水厂占地面积为 47 846 $m^2$（71.77 亩），其中地下箱体占地面积为 37 807 $m^2$（50.71 亩）。

③ 水质标准

为保护巢湖水环境，本工程要求出水水质在稳定达到安徽省《巢湖流域城镇污水处理厂和工业行业主要水污染物排放限值》（DB 34/2710—2016）基础上，COD、$BOD_5$、总磷、氨氮达到地表水Ⅳ类标准，总氮≤5 mg/L。主要设计进、出水水质见表 1。

表 1　设计进、出水水质

Tab. 1　Design influent and effluent quality

| 项目 | SS/（mg·$L^{-1}$） | COD/（mg·$L^{-1}$） | $BOD_5$/（mg·$L^{-1}$） | TP/（mg·$L^{-1}$） | $NH_3$－N/（mg·$L^{-1}$） | TN/（mg·$L^{-1}$） | pH 值 | 粪大肠杆菌/（个·$L^{-1}$） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 进水 | 310 | 350 | 180 | 5.5 | 32 | 50 | 6～9 | |
| 出水 | 10 | 30 | 6 | 0.3 | 1.5 | 5 | 6～9 | 1 000 |

## 2　工程总体设计

### 2.1　工程建设形式

净水厂采用地埋式设计，除综合管理用房外，所有污水、污泥处理构（建）筑物及附属生产建筑物均位于地下箱体内，箱体顶部为景观绿化、必要的人员疏散出口及气体排放设施。

### 2.2　工艺选择及工艺流程

#### 2.2.1　进水水质分析

由于望塘污水处理厂和清溪净水厂服务范围一致，故以望塘厂实测进水水质作为清溪净水厂设计进水水质。

对 2012 年—2014 年望塘污水处理厂逐日实测数据进行了分析，水质特点如下：①水质波动较大。进水水质是比较典型的以城市生活污水为主的市政污水，但由于污水管道漏损、初期雨水截流、城市建设力度大等原因，水质波动较大。②无机成分偏高。有近 2/3 时间的 SS/$BOD_5$ 不低于 1.5，无机成分偏高。其原因主要是合肥市正在进行大规模的城市建设。③COD 中颗粒惰性组分偏高，占比接近 60%。

#### 2.2.2　工艺选择

① 预处理工艺

由于进水中无机成分偏高，为降低进水中的无机成分对后续生化处理产生的不利影响，强化预处理是十分必要的。

设计中结合沉砂池与初沉池的特点，在预处理中采用大大缩短停留时间的沉淀池来取代沉砂池和严格意义的初沉池，简称速沉池。速沉池采用平流沉淀池形式，水力停留时间控制在 15～20 min。以达到以下目的：缩短水力停留时间，减少污水碳源的损失，降低运行成本；去除污水中的无机固体（沉砂池功能）和颗粒性 COD，削减进入生物处理系统 COD 负荷，降低生物处理能耗；通过速沉池可以去除污水中的无机 SS，提高生物池内 MLVSS 与 MLSS 的比值，增大生物系统内活性污泥量，起到降低污泥负荷的目的。

② 二级处理工艺

通过望塘厂处理经验，采用生物处理工艺可以稳定达到一级 A 出水标准。通过多方案比较，设计选用改良 $A^2/O$ 工艺为二级处理工艺，并对运行模式、功能区的布置进一步改进、优化：曝气池采用完全混合式布置，以提高系统抗冲击负荷能力；曝气池水深为 8.5 m，以减小曝气池占地面积，提高氧转移率，降低能耗[1]；分两段布置缺氧区，强化 TN 去除，以降低混合液回流比、减轻后续 TN 去除压力。

③ 深度处理工艺

深度处理主要功能为去除 TN，并进一步提高 TP 的去除率。

选择采用反硝化深床滤池工艺[2]。

④ 污泥处理工艺

工程采用地埋式建设模式，建设用地紧张，卫生要求高，因此污泥处理采用离心脱水的方式。

结合本工程污水处理厂竖向布置，料仓采用钢筋混凝土结构形式，底部为倒锥形，便于泥饼滑动，无需安装破拱滑架装置，降低工程造价，简化运行维护工作。

设污泥料仓 2 座，总容积为 200 $m^3$。

#### 2.2.3　工艺流程

工艺流程见图 1。

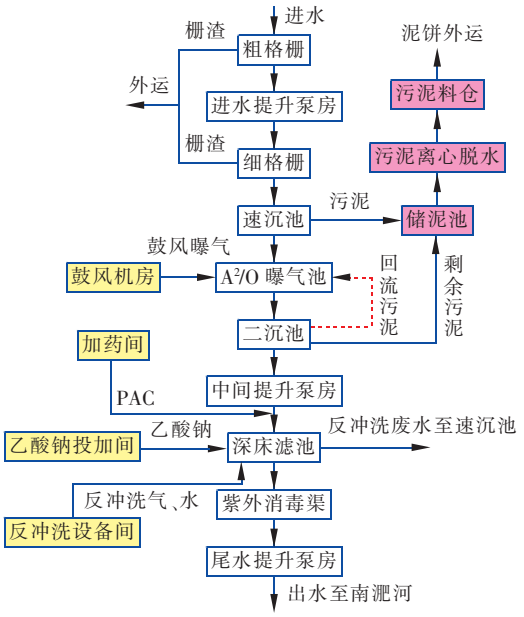


图 1　污水厂工艺流程

Fig. 1　Flow chart of wastewater treatment process

## 2.3　平面及竖向布置

### 2.3.1　平面布置

①　地下箱体布置在用地范围西侧,地块东南侧布置为厂前区,将生产区和生产管理区分开,功能明确,互不干扰。厂前区设综合楼 1 栋,布置有中控室、机修仓库及管理办公室等。

②　充分利用地形,满足交通需要。厂区南侧,两条车行道与清溪路连接;北侧有一条车行道与沿河西路连接,交通便利。

③　进入地下箱体坡道雨棚采用钢筋混凝土结构,上部和箱体顶板统一进行景观绿化。

地下箱体总平面布置见图 2。

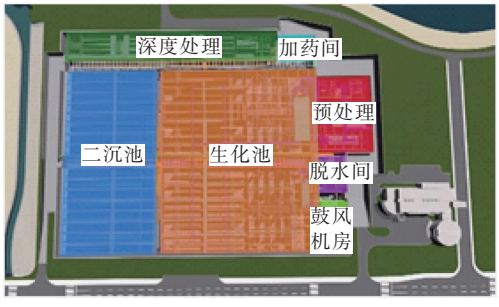


图 2　地下箱体平面布置

Fig. 2　Layout of underground boxes

①　根据进水管道位置,将进水设在东侧,由东向西依次布置预处理、二级处理,三级处理布置在西北侧。整个水流顺畅,流程清晰。

②　变配电间位置紧靠负荷最大的鼓风机房、进水泵房、脱水机房,运行管理方便、节省工程投资、降低能耗。

③　产生臭味最多的进水、预处理、污泥处理部分集中布置在厂区东侧,减少臭味对整个地下箱体的影响,便于除臭系统的布置,减小臭气收集管道数量,节省工程投资。

④　除臭生物滤池分散处理、集中布置,便于尾气集中排放。

⑤　充分利用安全疏散楼梯作为上下层通道。

⑥　脱水泥饼泵送至箱体外装车外运,避免重型运泥车进入箱体,降低结构设计难度和土建投资,减少对箱体内环境卫生的影响。

### 2.3.2　竖向布置

①　设计地面高程

设计方案拟将场地标高不足部分填高至 16.5 m(吴淞高程,下同),满足防洪要求。

②　地下式主体构筑物竖向设计

进水水面标高为 7.9 m,污水经提升后,进入后续处理构筑物。后续构筑物布置以操作层为界,下部为水处理水池,上部为操作层、部分生产建筑及部分管道敷设空间。为取得较好的景观视觉效果,操作层标高为 14.3 m。为便于设备吊装及物资运输,操作层顶标高为 20.0 m,层高为 5.7 m。

③　上部广场高程

厂外清溪路东高西低,路面标高由约 20.0 m 降至约 18.0 m。地下箱体顶层结构标高为 20.0 m,操作层上部覆土 0.3(西)~1.5 m(东),使上部公园整体东高西低,和清溪路坡度方向一致,使景观效果更佳。

## 3　主要构(建)筑物设计

### 3.1　改良 $A^2/O$ 曝气池

设计 2 座生化池,每座规模为 $10\times10^4$ $m^3/d$。每座分 2 组。单池平面尺寸为 114.0 m×64.3 m,池深为 10 m,有效水深为 8.5 m。

设计流量为 $20\times10^4$ $m^3/d$;设计水温为 12~25 ℃;MLSS 为 3 500~4 000 mg/L;外回流比为 33%~100%;最大内回流比为 400%;剩余污泥为 22 tDS/d;总污泥负荷为 0.064 $kgBOD_5/(kgMLSS\cdot d)$;总污泥龄为 16.5 d;总停留时间为 15.2 h。

主要设备如下:每组池预缺氧区设潜水高速搅拌器 1 台,共 5 台,1 台冷备;每组厌氧区设潜水高

速搅拌器 2 台,共 9 台,1 台冷备;每组缺氧区设低速推流器 4 台,共 17 台,1 台冷备;每组好氧区设低速推流器 4 台,共 17 台,1 台冷备;每组多功能区设潜水高速搅拌器 1 台,共 5 台,1 台冷备。

管式橡胶膜曝气器,直径为 90 mm,曝气量为 10 ~ 18 $m^3/(h \cdot m)$,数量为 4 366 m,分 92 组。

内回流泵 13 台,其中 1 台冷备。单泵 $Q = 0.77$ $m^3/s$,$H = 12$ kPa,$N_{轴} = 25$ kW。

### 3.2　反硝化深床滤池

设深床滤池 1 座,分为 16 格。单格平面尺寸为 23.9 m × 3.6 m,池深为 6.6 m。配 1 套反冲洗系统,采用气水反冲洗模式。设计流量为 $20.0 \times 10^4$ $m^3/d$,$Kz = 1.3$;单格过滤面积为 85.32 $m^2$;滤床深度为 1.83 m;滤速为平均流量时 6.42 m/h,高峰流量时 8.35 m/h;滤池水头损失为 20 ~ 25 kPa;反冲洗过程为气洗 2 min、气水联合冲洗 10 ~ 15 min、水漂洗 5 ~ 8 min;反冲洗强度为气洗 92 m/h,水洗 15 m/h;反冲洗周期为 24 ~ 48 h。

主要设备:石英砂粒径为 1.7 ~ 3.35 mm,滤床深度为 1.83 m;反冲洗离心泵 3 台(2 用 1 备),$Q = 648$ $m^3/h$,$H = 100$ kPa,$N = 30$ kW;罗茨鼓风机 3 台(2 用 1 备),$Q = 66$ $m^3/min$,风压为 68.6 kPa,$N = 132$ kW;空压机 2 台(1 用 1 备),$Q = 1.0$ $m^3/min$,$P = 0.85$ MPa,$N = 7.5$ kW。

### 3.3　紫外线消毒渠

设紫外消毒渠 2 条,每条渠道安装紫外消毒装置 1 套。平均有效紫外剂量≥20 $mJ/cm^2$;紫外透光率为 65%。紫外消毒模块 2 套。

### 3.4　脱水间、料仓

脱水间及料仓合建,平面尺寸为 20.10 m × 19.56 m,两层。上层层高为 5.7 m,主要布置离心浓缩脱水机;下层层高为 10 m,主要布置储泥池、反冲洗水池、污泥料仓、进料泵、泥饼泵、加药设备等。

总剩余污泥量为 42 tDS/d,含水率为 98.8%,3 600 $m^3/d$;出泥含水率 < 80%;工作时间为 24 h/d;单座料仓有效容积约 100 $m^3$,尺寸为 6.5 m × 6.9 m × (7 ~ 8) m,共 2 座,总有效容积约 200 $m^3$;絮凝剂用量为 1 ~ 5 kg/tDS。

主要设备:污泥切割机 4 台,$Q = 40 \sim 60$ $m^3/h$,$N = 4.0$ kW;污泥进料泵 4 台,$Q = 40 \sim 60$ $m^3/h$,$N = 15$ kW;离心脱水机 4 台,$Q = 40 \sim 60$ $m^3/h$,$N = 88$ kW;双向无轴螺旋输送机 1 台,$L = 13.5$ m,$N = 7.5$ kW;PAM 配制投加装置 1 套,制备能力为 3.3 ~ 13.32 kg/h,$N = 2.77$ kW;泥饼泵 2 台,$Q = 24$ $m^3/h$,$H = 1.4$ MPa,$N = 22$ kW。

### 3.5　加药间

化学除磷及 SS 去除需要投加絮凝剂,本工程絮凝剂采用 PAC,最大设计投加量为 60 mg/L。原料采用液体药剂,药剂储存池位于加药间内,有效容积为 320 $m^3$,分 2 格。

当进水碳源不足时,需要乙酸钠作为外加碳源,设 3 个投加点:深床滤池最大投加量为 20 mg/L;曝气池缺氧区最大投加量为 50 mg/L;多功能区最大投加量为 100 mg/L。设计湿式投加,原料采用液体乙酸钠。

加药间设计规模为 $20 \times 10^4$ $m^3/d$,乙酸钠及 PAC 投加浓度均为 10%。

## 4　除臭及通风设计

### 4.1　设计标准

①　臭气处理排放标准应执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)中二级标准。

②　厂内有毒有害气体及粉尘等卫生条件执行《工业企业设计卫生标准》(GBZ 1—2010)、《工作场所有害因素职业接触限值》(GBZ 2—2007)。

### 4.2　除臭工艺设计

#### 4.2.1　风量计算

为保证除臭效果和降低运行成本,设计中将臭气分为两类:一是直接和污水、污泥等臭气源接触部位产生的臭气,称为高浓度臭气,这部分臭气通过对构筑物加盖密封后,将臭气抽送至高浓度臭气处理系统进行处理;二是预处理区和污泥处理区等可能发生臭气外逸区域,对其进行密封,以较低的换气次数抽吸空间内空气,称为低浓度臭气,抽送至低浓度臭气处理系统进行处理。换气次数见表 2。

表 2　除臭换气次数

Tab. 2　Deodorizing frequency　　次 · $h^{-1}$

| 项　目 | 构筑物 | 换气次数 |
|---|---|---|
| 高浓度除臭系统 | 粗格栅 | 8 |
| | 提升泵房 | |
| | 细格栅 | |
| | 速沉池 | |
| | 污泥处理系统 | 8 |
| | 生化池 | 鼓风曝气量的 1.1 倍 |
| 低浓度除臭系统 | 预处理人工操作段 | 2 |
| | 污泥脱水间 | 2 |

按照上述换气次数,计算高浓度臭气风量为 11 ×10$^4$ m$^3$/h,低浓度臭气风量为 11 ×10$^4$ m$^3$/h。

#### 4.2.2　工艺设计

设计采用生物除臭处理工艺。

①　高浓度臭气处理系统

设 2 座除臭生物滤池,1#高浓度除臭装置臭气处理量为 8 ×10$^4$ m$^3$/h,负责处理生化池臭气;2#高浓度除臭装置臭气处理量为 3 ×10$^4$ m$^3$/h,负责处理预处理及污泥处理系统两个区域臭气。臭气在除臭滤池内的停留时间≥25 s。

主要设备如下:臭气收集系统 2 套;生物滤池 2 套;除臭风机 2 台(1 用 1 备),单台 $Q$ = 80 000 m$^3$/h,$P$ = 3 000 Pa,$N$ = 110 kW;除臭风机 2 台(1 用 1 备),单台 $Q$ = 30 000 m$^3$/h,$P$ = 3 000 Pa,$N$ = 45 kW。

②　低浓度臭气处理系统

设 2 座除臭生物滤池,1#低浓度除臭装置臭气处理量为 8 ×10$^4$ m$^3$/h,负责处理污泥脱水间臭气;2#低浓度除臭装置臭气处理量为 3 ×10$^4$ m$^3$/h,负责处理预处理区域臭气。臭气在除臭滤池内的停留时间≥20 s。

主要设备如下:臭气收集系统 2 套;生物滤池 2 套;除臭风机 2 台(1 用 1 备),单台 $Q$ = 80 000 m$^3$/h,$P$ = 3 000 Pa,$N$ = 110 kW;除臭风机 2 台(1 用 1 备),单台 $Q$ = 30 000 m$^3$/h,$P$ = 3 000 Pa,$N$ = 45 kW。

### 4.3　通风设计

结合厂内通风和消防要求,设有通风系统一套。通风方式采用自然补风、机械排风兼排烟,自然通风、排烟等。

一般区域换气次数为 2 次/h,变配电间为 12 次/h,鼓风机房为 4 次/h。

## 5　安全措施

### 5.1　防淹措施

①　在粗格栅及进水泵房前进水总管末端设置速闭闸,一旦事故或停电,速闭闸将迅速重力关闭,污水不能进入净水厂,直接在厂外溢流井排放。

②　厂内构筑物池顶标高满足在停电事故时,不会因为连通器现象造成池顶溢流。

③　地下通道入口均设截洪沟,防止雨水进入地下箱体。

④　厂内管材选择优质管材,防腐到位,充分考虑管道的热胀冷缩,避免爆管引起污水厂被淹。

⑤　地下负二层设置多个集水坑及排水泵,根据坑内液位及时排放。

### 5.2　消防

本工程地下厂房内主要生产构筑物均为污水、污泥净化处理的蓄水或盛水构筑物,主要的建筑材料是钢筋混凝土,根据《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014),除变配电间外,为戊类厂房,所储存物品为不燃烧物品,不具备火灾危险性特征。地下污水处理厂中可燃烧物主要是电力电缆,在正常生产情况下,一般不易发生火灾,因此,本工程火灾危险性较小。

消防措施如下:①建筑防火设施,防火墙、防火门、防火卷帘、疏散楼梯等。②消防给水和灭火设施,室内外消火栓、干粉灭火器及气体灭火设施等。③消防电气,广播、应急照明、火灾探测报警等。④通风及防排烟设施。

### 5.3　有毒有害气体

水厂内可能产生 $H_2S$、$NH_3$ 等气体,对操作工人健康产生影响。设计中采取了加强通风、除臭,设置监测报警装置,配置防护用具等措施,具体如下:

①　除臭生物滤池的尾气经设在厂区顶板上的排气筒进行高空排放,排气筒高度为 16 m。

②　臭气处理排放标准应执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)中二级标准。

③　为提高生产安全、防止职业病发生、改善操作工人工作环境,厂内有毒有害气体及粉尘等卫生条件执行《工业企业设计卫生标准》(GBZ 1—2010)、《工作场所有害因素职业接触限值》(GBZ 2—2007)。

④　厂内还设有有毒、有害气体($NH_3$、$H_2S$ 等)监测报警装置,随时对厂区环境进行实时监控。此外,还设有防毒面具等应急设施。

## 6　工程建设及运行情况

清溪净水厂已于 2017 年 11 月 30 日通过环保验收,正式进入商业运营。目前,污水厂运行了 1 组处理设施(共 2 组,每座处理能力为 10 ×10$^4$ m$^3$/d),处理水量约 8.5 ×10$^4$ m$^3$/d,运行良好,出水水质优于设计标准。

2017 年 11 月—12 月连续 30 天的实测进、出水水质如表 3 所示。可见,出水水质完全达到地表水类Ⅳ类标准。

表 3　实测进、出水水质

Tab. 3　Actual influent and effluent quality　　mg · L$^{-1}$

| 项目 | 进水 | | | | | | 出水 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | COD | $BOD_5$ | SS | TN | $NH_3$ – N | TP | COD | $BOD_5$ | SS | TN | $NH_3$ – N | TP |
| 最大值 | 360 | 126 | 190 | 47.4 | 37.40 | 5.40 | 29.1 | 4.6 | 9 | 4.79 | 0.832 | 0.267 |
| 最小值 | 123 | 56.0 | 65 | 25.9 | 18.20 | 1.39 | 16.8 | 2.1 | 4 | 2.10 | 0.060 | 0.120 |
| 平均值 | 235 | 95.5 | 107 | 36.7 | 28.88 | 3.35 | 22.8 | 3.2 | 7 | 3.84 | 0.393 | 0.211 |

## 7　设计体会

作为 $20\times10^4$ m$^3$/d 的大型地埋式污水处理厂，且出水标准极为严苛，尤其是 TN≤5 mg/L，目前在国内是仅此一例。其成功建成和达标运行，说明本工程的设计是成功的。体会如下：

①　前期的深入研究是十分必要的。本工程设计中最关注 COD 和 TN 的去除，也是工艺选择的重点和难点，但国内并没有可以借鉴的成熟经验。为此，2011 年 3 月—9 月在王小郢污水处理厂分别用 BAF、活性砂滤池和深床滤池进行了深度脱氮的对比中试，获得了非常详实的实验数据，为后续的设计提供了重要依据。对于 COD，2014 年 4 月对望塘污水厂的进水 COD 组分进行了多次分析，结果表明 COD 组分中主要以颗粒惰性物质为主，占到 60%，为此，在设计中采用强化预处理工艺，对这部分 COD 进行有针对性的削减。

②　多专业之间的协调、配合是设计成败的关键。不同于常规的地面式污水厂，地埋式污水处理厂的构(建)筑物组合、叠放非常普遍。工艺构筑物选型、柱网布置、交通组织、各种管线平面及竖向空间利用，都影响到整个箱体的设计。需要多专业的协调、配合，充分利用有限空间，通过多方案技术经济比较，才能取得较为完善的结果。由于本工程 2014 年开始设计，尚未引入 BIM 技术，今后类似项目通过搭建 BIM 模型，各专业统一在 BIM 模型平台上协同设计，可以起到事半功倍的效果。

③　及早和相关部门协调、沟通，避免重复设计。以消防设计为例，目前国内尚无专门针对地埋式污水厂的相关规范、条文，及早和消防部门沟通，明确消防设计方案，可有效避免重复设计和验收困难。

④　注重细节，利于工程的建设和运维。受空间限制，地埋式污水处理厂在设备材料就位、人员交通安排等细节方面需充分考虑。比如设备吊装孔，如果长度小于 6 m，在管道的吊装中就很不方便。

## 8　结论

①　采用速沉池强化预处理、优化 A$^2$/O 生化池 + 矩形周进周出二沉池强化二级处理以及后置反硝化深床滤池深度处理核心工艺，处理效果良好。

②　污水厂采用地埋式设计，单位污水占地面积仅 0.239 m$^2$/m$^3$，节约用地效果明显。

**参考文献：**

[1]　尹训飞，齐鲁，张晓军，等. 水深对微孔曝气充氧性能的影响研究及数值模拟[J]. 水处理技术，2015，(6)：75 – 78.
Yin Xunfei，Qi Lu，Zhang Xiaojun，*et al*. Effect of the water depth on oxygenation performance of fine bubble aeration and numerical simulation[J]. Technology of Water Treatment，2015，(6)：75 – 78(in Chinese).

[2]　钱勇，沈仲韬，范建国，等. STS 滤池组合工艺处理污水的中试研究[J]. 中国给水排水，2008，24(23)：11 – 15.
Qian Yong，Shen Zhongtao，Fan Jianguo，*et al*. Study on STS biofiltration technology for wastewater treatment[J]. China Water & Wastewater，2008，24(23)：11 – 15(in Chinese).

**作者简介：**马刚(1970 – )，男，四川崇州人，大学本科，高级工程师，主要从事给水排水工程设计工作。

**E – mail：**396046302@ qq. com

**收稿日期：**2017 – 12 – 15