

# 林州市采用改良型 $A^2/O$ 工艺的“窑洞式”地下污水厂设计

崔全喜, 孙高升, 马亚平, 杨涛, 尹卫红  
(河南省城乡规划设计研究总院有限公司, 河南 郑州 450044)

**摘要:** 林州市第二污水处理厂结合厂址处的自然地势落差和景观要求,采用全地下和半地下相结合的“窑洞式”建设方案,实现了土地节约型、环境友好型的建设目标,同时还能够降低检修层的消防要求,实现箱体部分区域的自然进风,达到节能降耗的目的,可为其他类似项目提供借鉴。污水处理采用“改良型  $A^2/O$  + 高效沉淀池 + 纤维转盘滤池 + 紫外线消毒”工艺,所有污水和污泥处理建(构)筑物集成布置在一个地下两层的箱体内,实现集约化布局。箱体采用超长结构无缝设计,内部设有除臭系统、通风系统、消防和疏散系统、供电和照明系统、监控系统等配套设施。

**关键词:** 地下污水处理厂; 改良型  $A^2/O$ ; 纤维转盘滤池

**中图分类号:** TU992.3      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1000-4602(2020)04-0057-05

## Project Design of Linzhou City “Cave-style” Underground Sewage Treatment Plant with Improved $A^2/O$ Process

CUI Quan-xi, SUN Gao-sheng, MA Ya-ping, YANG Tao, YIN Wei-hong  
(Henan Urban Planning and Design Research Institute Co. Ltd., Zhengzhou 450044, China)

**Abstract:** Based on the topography condition and the landscape requirement, the goal of land saving and environment friendly construction was realized by application of the “cave-style” construction scheme in Linzhou City second sewage treatment plant, which integrated the underground and the semi-underground construction mode. Moreover, the “cave-style” construction scheme could also reduce the fire protection requirement of maintenance layer. Consequently, the partial region of the sewage treatment plant box body could realize natural ventilation, which achieved the goal of energy-saving and cost-reducing. Therefore, the construction scheme of Linzhou City second sewage treatment plant could provide reference for similar projects. The sewage treatment process was “improved  $A^2/O$  + high-efficiency settler + fiber rotary table filter + UV disinfection”. All structures for wastewater and sludge treatment were settled in a two-floor underground box structure concentratedly, which realized the intensive layout. The box body used the super long structure with seamless design, with several ancillary facilities including deodorization system, ventilating system, fire and evacuation system, power supply and lighting system, monitoring system, etc.

**Key words:** underground sewage treatment plant; improved  $A^2/O$ ; fiber rotary table filter

### 1 项目背景和建设形式

#### 1.1 项目背景

林州市第二污水处理厂是一座统筹规划的城乡一体化污水处理厂,服务范围包括:十二支渠以南的

城区,桃园大道及桃园河沿线的村庄,采桑镇、横水镇、合涧镇镇区及其周边的村庄,近期服务人口约15.9万人,规划远期服务人口约32.3万人。

因区域地形因素,项目选址在林州市区东部,桃

园河下游北岸,高速公路出口处,是进出林州市的必经之地。此处为取土后留下的土坑,坑内面积约 $2.7\text{ hm}^2$ ,坑深为 $3\sim 12\text{ m}$ ,可利用土地面积较少。地块北临高速引线,南临桃园河,西临焦家湾村,东临翟阳公路,南北落差约 $10\text{ m}$ ,东西落差为 $5\sim 9\text{ m}$ 。

林州市已建有1座城市污水处理厂,城市污水长期存在着冬季水温偏低(可至 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下)、氨氮和总氮偏高、冬季氨氮达标困难的问题。

## 1.2 建设形式

结合厂址处的地形地貌情况,设计采用全地下和半地下相结合的“窑洞式”污水处理厂建设方案,在厂区北部临高速引线一侧,采用双层加盖的全地下式布置形式,上部建设公园,在南侧则为半地下式,检修层与管理区平接,方便管理和物料运输。

污水厂建设形式示意图见图1,建设效果图见图2。

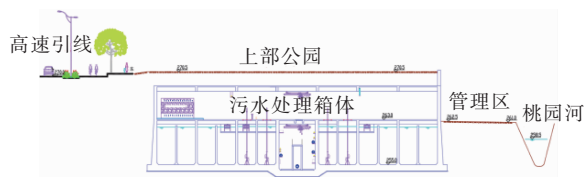


图1 污水处理厂建设形式(窑洞式)示意

Fig.1 Schematic diagram of the construction form of sewage treatment plant (cave-style)



图2 污水处理厂效果图

Fig.2 Engineering drawing of the sewage treatment plant

该建设方案主要有以下几个优点:

① 合理利用坑地和现状地形,节约用地和外购土方量。

② 厂址位置为林州市的东大门,环境要求较高。上部建设为公园,下部建设为污水处理厂,能够实现与周围环境的协调统一,无臭味,对提升林州市的整体形象有利。

③ 占地面积小,适合该项目用地面积严重受限的特点。

④ 可降低与西侧村庄的防护距离,满足环评要求。同时还可提高周边土地的利用价值,具有较

好的社会效益。

⑤ 地下污水处理厂保温效果好,有利于解决林州市冬季污水水温异常偏低、运行困难的问题。

⑥ 南侧布置为半地下式,可使检修层地坪与室外消防车道平接,降低检修层的消防要求,并能够实现箱体南部区域的自然进风、自然采光,达到节能降耗的目的。

## 2 工程设计

### 2.1 设计规模和设计水质

林州市第二污水处理厂近期建设规模为 $2 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,远期规划总规模为 $4 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,排放水体为桃园河,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。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

mg · L <sup>-1</sup>						
项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
进水	350	150	220	50	70	6
出水	50	10	10	5(8)	15	0.5

### 2.2 工艺流程

二级处理采用改良型A<sup>2</sup>/O工艺,深度处理采用高效沉淀池+纤维转盘滤池工艺,采用紫外线消毒,污泥经浓缩脱水后外运处置。工艺流程见图3。

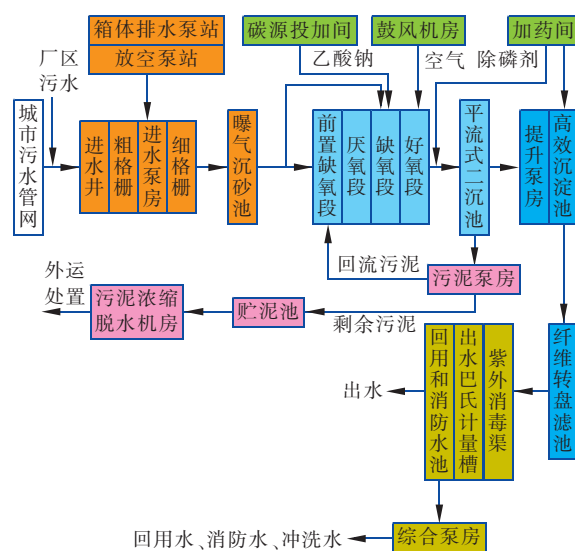


图3 污水处理工艺流程

Fig.3 Flow chart of wastewater treatment process

### 2.3 箱体总体设计

#### ① 平面布置

该项目所有污水和污泥处理建(构)筑物集成布置在一个地下两层的箱体内。负二层自左向右分别为预处理车间、放空和排水泵站、贮泥池、脱水机房附属设备间、生物池、二沉池、提升泵房、高效沉淀池、纤维转盘滤池、紫外消毒渠、巴氏计量槽、回用和消防水池、综合泵房等;中部为“T”型的综合管廊。负一层布置有污泥浓缩脱水机房、加药间和碳源投加间、除臭车间、变配电间、鼓风机房、机修间、进水监测间、出水监测间、送风机房、排风机房等,中部为“凹”字型的行车通道。

## ② 竖向设计

箱体底板结合各处理构筑物的池深不同,采用台阶式分布,底板上沿高程在253.30~258.30 m之间;负一层地面高程设计结合南侧厂区整平高程和防洪排涝要求,设计为263.00 m;顶板高程结合设备吊装要求和上部公园景观要求,设计在268.50~270.50 m之间;顶部覆土厚度设计为1.5~2 m。

## 2.4 工艺设计

### ① 预处理

土建部分按远期规划规模 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,设备按 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 配置。粗格栅采用2台回转式格栅,渠宽为1.0 m,栅隙为20 mm。进水泵房设5个泵位,近期安装3台(2用1备),2台变频,另预留2台泵位,以满足远期扩建或运行调整的需要;污水泵采用潜水泵, $Q=621 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=60 \text{ kPa}$ , $N=18.5 \text{ kW}$ 。细格栅选用2台孔板式格栅除污机,渠宽为1.8 m,孔眼直径为5 mm。曝气沉砂池按远期规模一次建成,近期1用1备运行,停留时间为3.8 min。

### ② 二级处理

二级处理单元按近期规模 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计。生物池采用由前置反硝化段、厌氧段、缺氧段、好氧段组成的脱氮除磷生物反应器,分2个系列,设计泥龄为18 d,水温 $\geq 10^\circ\text{C}$ ,总停留时间为21.6 h。前置反硝化段、厌氧段、缺氧段均采用循环沟道池型,各设2台潜水推流器保证循环流速;好氧段采用底部管式微孔曝气器进行曝气,气源由生物池上部的鼓风机房供给,鼓风机选用3台(2用1备)空气悬浮单级高速离心鼓风机, $Q=54 \text{ m}^3/\text{min}$ , $P=72 \text{ kPa}$ , $N=75 \text{ kW}$ ,可变频调节风量。生物池进水可按比例分别进入前置反硝化段和缺氧段,在进水BOD<sub>5</sub>偏低时,还可向缺氧池投加外碳源来提升脱氮效果。

二沉池采用平流沉淀池,共设2组8格,单格池长为28 m,宽为5.45 m,水深为3.5~4.0 m,设计表面负荷 $q_{\max}=1.01 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

### ③ 深度处理

二级处理系统出水经提升后进入深度处理段。为减小箱体尺寸,节省投资和用地,深度处理工艺采用停留时间短的高效沉淀池+纤维转盘滤池。高效沉淀池设2组,每组可分为混合区、反应区和沉淀浓缩区。混合区停留时间为2.5 min,尺寸为2.1 m $\times$ 1.9 m $\times$ 6.6 m;反应区停留时间为10 min,尺寸为4.0 m $\times$ 4.0 m $\times$ 6.5 m;沉淀浓缩区总停留时间为47 min,上部斜管沉淀区面积为52.5 m<sup>2</sup>,上升流速为11.8 m/h;下部污泥浓缩区直径为9.0 m。纤维转盘滤池设1组10片,盘片直径为3 m,平均滤速为7.4 m/h,设计滤速为11 m/h。

### ④ 消毒和计量

采用紫外线消毒工艺,设紫外消毒渠1条,安装1组紫外消毒模块,包含6个模块48支紫外灯管。出水计量采用巴氏计量槽,喉宽为0.4 m,渠宽为1.1 m,渠长为12.8 m。

### ⑤ 污泥处理部分

污泥泵站与生物池合建,设置在南侧生物池的厌氧池和好氧池之间,回流污泥泵采用3台潜污泵(2用1备),1台变频, $Q=420 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=55 \text{ kPa}$ , $N=11 \text{ kW}$ ;剩余污泥泵采用2台潜污泵(1用1备), $Q=50 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=90 \text{ kPa}$ , $N=2.2 \text{ kW}$ 。贮泥池与脱水机房附属设备间相邻,有效容积为160 m<sup>3</sup>,池体尺寸为5.0 m $\times$ 8.0 m $\times$ 4.7 m。污泥采用离心式浓缩脱水一体机进行脱水,然后外运处置。浓缩脱水机房土建按远期规模布置,设3套设备的安装位置,近期设计污泥总产量为4.58 tDS/d,安装2套离心浓缩脱水机及配套的污泥切割机、投泥泵、絮凝剂制备装置、絮凝剂投加泵等,1用1备运行,单套处理能力为48 m<sup>3</sup>/h,进泥含水率为99.3%,出泥含水率为80%。

### ⑥ 加药系统

箱体负一层设有加药间和碳源投加间,用于投加除磷药剂和外加碳源。除磷药剂采用聚合硫酸铁,设两处投加点,分别位于高效沉淀池混合区和生物池末端。外加碳源采用乙酸钠溶液,投加点位于生物池的缺氧段。采用隔膜式计量泵投加。

### ⑦ 附属设施



为保证地下污水处理厂的正常运行,满足放空、排水、消防、冲洗、再生水利用等要求,箱体内设放空泵站、排水泵站、综合泵房。放空泵站用于箱体内各个单体的放空,泵站内安装2台潜水排污泵,互为备用,应急时可同时开启,单泵 $Q=400\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=90\text{ kPa}$ , $N=15\text{ kW}$ 。排水泵站用于排除箱体内部的生产排水和池壁、管路渗漏水,设潜水排污泵2台(1用1备),单泵 $Q=40\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=110\text{ kPa}$ , $N=3\text{ kW}$ 。综合泵房内设置消防水泵2台(1用1备),用于箱体的室内消防给水;设冲洗水泵2台(1用1备,变频),另预留1台泵位,用于脱水机房和细格栅的设备冲洗;设变频调速恒压供水泵组1套,用于向厂区和顶部公园供应再生水;泵房内还为未来的城市再生水利用项目预留了5个泵位。

## 2.5 生物除臭系统

箱体内臭气的主要成分为氨气、硫化氢、胺类和粪臭素等<sup>[1]</sup>。由于扩散条件差,卫生要求高,地下污水处理厂的除臭标准应高于常规污水处理厂。本次设计除臭对象除常规的预处理区(粗格栅间、进水泵房、细格栅间、曝气沉砂池)、泥处理区(贮泥池、浓缩脱水机房)、生物池、污泥泵站外,将臭气产生量较小的二沉池、放空泵站、排水泵站等也纳入除臭范围,臭气量包括水面臭气产生量和空间换气量。经计算,总臭气量共约 $31\,794\text{ m}^3/\text{h}$ ,考虑一定的漏失风量和安全冗余,设计除臭风量最终确定为 $36\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 。采用生物滤池除臭工艺,生物滤池设置在箱体负一层,生物池的上方,尺寸为 $14.0\text{ m}\times 6.6\text{ m}\times 3.6\text{ m}$ 。

## 2.6 结构设计

### ① 箱体结构

污水处理箱体平面尺寸为 $137.6\text{ m}\times 54.2\text{ m}$ ,净高为 $12\sim 14\text{ m}$ ;负二层为水处理构筑物和综合管廊,采用现浇钢筋混凝土结构;负一层为检修层,内部采用现浇钢筋混凝土框架剪力墙结构。箱体北侧外墙为现浇钢筋混凝土挡土墙,侧向以6道垂直该挡墙的剪力墙和负一层、负二层楼板共同支撑,抵抗北侧的侧向土压力。箱体底板厚度为 $1\,400\text{ mm}$ ,北侧、东侧、西侧挡墙为壁厚 $1\,100\text{ mm}/600\text{ mm}$ 的变截面;南侧负二层为壁厚 $1\,100\text{ mm}/600\text{ mm}$ 的变截面,负一层(以箱体顶部地面衡量为负一层,以办公区地面衡量为地面一层)为框架柱+填充墙。

污水处理箱体结构设计上属于超长结构。地下

超长结构目前主要有永久伸缩缝和无缝两种设计方案。根据以往经验,设置永久伸缩缝的工程在使用过程中,伸缩缝处或多或少都存在渗漏问题,修补十分困难,目前还没有十分有效的解决方法。结合本项目箱体尺寸相对较小的情况,设计确定箱体整体结构采用超长结构无缝设计<sup>[2-4]</sup>的方案。

地下超长结构的无缝设计已在民用建筑大底盘地下室中广泛采用,主要是使用补偿收缩混凝土间隔 $30\sim 40\text{ m}$ 设置后浇加强带,以此补偿混凝土的收缩及温度应力。采用无缝设计的墙体虽也会出现混凝土的开裂和渗漏,但其修补难度要远小于永久伸缩缝的修补。

### ② 防渗

混凝土抗渗等级为P8,混凝土中添加外加剂,以增加抗渗、抗裂能力。池体内侧喷涂防水防腐涂料,起到防水、防腐双重效果。

## 2.7 消防设计

### ① 火灾危险性分类和耐火等级

污水处理箱体为污水处理设施,属于常温下加工不燃烧物质的生产性厂房,产生的可燃气体(如甲烷)量较小,根据《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014),确定为戊类厂房。箱体耐火等级全部采用一、二级。

### ② 总体布置和疏散

本项目如采用全地下建设形式,污水处理箱体共需划分为10个防火分区,每个防火分区设置2个以上的安全出口(其中1个必须直通室外),并保证厂房内任意一点到疏散出口的距离 $\leq 60\text{ m}$ 。为满足这些要求,需在箱体内设置较多的防烟楼梯间直通室外,并建设防火墙和防火门分隔检修层,同时还需调整负二层处理构筑物的布局并增加箱体尺寸。这会导致工程建设投资增加,顶部大量的楼梯间和送、排风口也会影响上部公园的景观效果,与景观协调、环境友好的建设初衷不相符。

为简化消防设计,优化系统布局,本次设计结合自然地势落差,采用了“窑洞式”的建设形式,箱体南侧布置为半地下式,检修层地坪与室外消防车道平接,将检修层转变为地上一层厂房,不再受消防分区面积限值 and 疏散距离要求的限制。负二层的综合管廊、综合泵房、附属设备间等则按地下式厂房进行设计,设三处直通室外的防烟楼梯间。

### ③ 消防设施

污水处理厂区设室外消火栓系统,箱体内设室内消火栓系统。室外消火栓采用低压消防给水系统,水源由市政给水管网供给。室内消防栓采用临时高压消防给水系统,采用处理后尾水(再生水)作为水源,由消防泵房供给;箱体内设再生水池一座,容积为 1 380 m<sup>3</sup>,兼作消防水池;高位消防水箱设在污水处理箱体顶部的消防水箱间内,有效容积为 18 m<sup>3</sup>,并设置稳压泵和气压罐。室内消防配水管网采用环状网,管径为 DN150,管材采用热浸镀锌钢管,在南侧临近道路处设有两个消防水泵接合器。箱体内还按消防要求设置了干粉灭火器。

## 2.8 通风设计

箱体南侧外墙设可开启的外窗,可自然进风、自然采光。负一层南北空敞无遮挡区域,采用南侧自然进风、北侧机械排风的通风系统。负一层被隔墙遮挡的北侧车间和负二层的综合管廊、综合泵房、附属设备间等,采用机械送风、机械排风兼排烟的通风系统,为降低进风口对上部公园景观的影响,送风机房设在南侧临外墙处,进风口采用在侧墙高处设百叶窗的形式,排风口均设置在箱体北侧顶部,露出地面部分装饰为公园内的景观小品。

箱体内设置有 H<sub>2</sub>S、CH<sub>4</sub>、O<sub>2</sub> 的浓度检测装置,当室内有害气体浓度达到《工作场所有害因素职业接触限值》中规定的限值或氧气含量过低时,均可远程自动启动送排风系统,并发出报警信号。

## 3 结语

林州市第二污水处理厂利用取土后留下的土坑,建设为地下式污水处理厂,既节约了土地,又将坑地改造为位于林州市东大门的景观公园,实现了环境友好型、土地节约型的建设目标。布置形式上巧妙结合自然地势落差,采用“窑洞式”的方案,实现了节能和降低消防要求的效果,可为其他类似项目提供借鉴。

## 参考文献:

- [1] 郑理慎,陈志平,王薇,等. 污水厂生物除臭设计中存在的问题探讨[J]. 中国给水排水,2011,27(12):14-17.  
Zheng Lishen, Chen Zhiping, Wang Wei, et al. Discussion on existing problems in design of bio-deodorization system in sewage treatment plants[J]. China Water &

Wastewater, 2011, 27(12):14-17 (in Chinese).

- [2] 刘绪为,徐洁,林蔓,等. 正定新区全地下污水处理厂工程设计[J]. 中国给水排水,2017,33(4):48-50.  
Liu Xuwei, Xu Jie, Lin Man, et al. Design of underground sewage treatment plant in Zhengding New District[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(4):48-50 (in Chinese).
- [3] 胡龙. 半地下全覆盖式 MBR 工艺再生水厂工程设计[J]. 中国给水排水,2012,28(20):83-86,89.  
Hu Long. Design of semi-underground and fully covered water reclamation plant using MBR process[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(20):83-86,89 (in Chinese).
- [4] 曹卫峰,王海波,赵鹏,等. 全地下污水厂特色结构布置及经济性分析[J]. 中国给水排水,2012,28(10):63-65,69.  
Cao Weifeng, Wang Haibo, Zhao Peng, et al. Characteristic structure layout and economic analysis of fully underground wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(10):63-65,69 (in Chinese).



**作者简介:**崔全喜(1982-),男,河南驻马店人,大学本科,高级工程师,分院总工程师,注册公用设备工程师,注册咨询工程师,主要从事市政给排水工程的规划、咨询、设计工作,获得国家优秀勘察设计三等奖 3 项,河南省建设标准设计一等奖 1 项、优秀勘察设计奖 18 项(一等奖 7 项)、优秀工程咨询奖 14 项(一等奖 5 项)、优秀规划奖 2 项,被评为“2014 年度郑州市优秀勘察设计师”。

**E-mail:**8647577@qq.com

**收稿日期:**2019-04-02