

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.04.009

# 地下式污水处理厂用地指标分析及节地设计方向

陈秀成

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要:** 针对目前国内地下式污水处理厂用地控制指标尚无相关标准的现状,通过对国内113座已建和在建地下式污水处理厂的实际用地指标进行统计分析,并结合理论计算,提出了不同规模地下式污水处理厂的用地按 $0.35\sim 1.20\text{ m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1})$ 指标范围进行控制的建议。对于地下式污水处理厂的节地设计,结合具体的工程案例,提出了工艺路线选择、工艺参数优化、总体布置节地和地块综合开发利用节地等设计方向。具体的工程设计中,需要综合考虑节地、安全、成本和管理等多方面因素,以实现在项目特定条件下最大程度节地。

**关键词:** 地下式污水处理厂; 用地指标; 节地设计

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)04-0053-06

## Analysis of Land Quota and Land Conservation Design Direction of Underground Wastewater Treatment Plant

CHEN Xiu-cheng

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** At present, there is no relevant standard for land control quota of underground wastewater treatment plant in China. Based on the statistical analysis and theoretical calculation of the actual land quota of 113 underground wastewater treatment plants have been built and are under construction in China, the paper suggested that the land quota of different scale underground wastewater treatment plants should be controlled in the range of  $0.35\sim 1.20\text{ m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1})$ . For land conservation design of underground wastewater treatment plant, this paper proposed the design directions of process route selection, process parameter optimization, land conservation by overall layout optimization and land conservation by comprehensive development and utilization based on specific engineering cases. In specific engineering designs, it is necessary to comprehensively consider many factors, such as land conservation, safety, cost and management, so as to achieve the maximum land conservation under the specific engineering conditions.

**Key words:** underground wastewater treatment plant; land quota; land conservation design

国内第一批地下式污水处理厂于2010年前后建成投产<sup>[1-2]</sup>,至今十余年间,国内的地下式污水处理厂建设呈暴发式增长。由于地下式污水处理厂能较好地改善环境、解决污水处理厂的邻避效应问题,同时能节约土地、释放宝贵的土地资源,使得近两三年来地下式污水处理厂的建设呈现加速的

趋势。

据笔者不完全统计,目前国内已建和在建规模 $1\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 以上的地下式污水处理厂已逾113座,分布在国内25个不同省市,其中以经济相对发达的广东和浙江数量最多,充分体现了城市发展对改善环境和节约土地的迫切需求。

对于地下式污水处理厂的设计和建设,很长一段时间以来一直处于没有相应设计规范或标准的状态,虽然近一两年国内开始陆续有相关的行业或地方技术规程或技术指南发布,但总体来讲,还是缺少能系统性地指导地下式污水处理厂设计和建设的规范或标准,譬如关于地下式污水处理厂的用地指标该如何控制,目前还没有相关规范或标准可参考。

## 1 地下污水处理厂用地指标分析

### 1.1 现有相关规定

目前在污水处理厂设计中对于用地指标的控制是依据2005年建设部主编的《城市生活垃圾处理和给水与污水处理工程项目建设用地指标》(建标[2005]157号),该标准中对污水处理厂建设用地的控制指标如表1所示。

表1 城市污水处理厂建设用地控制指标

Tab.1 Land control quota of wastewater treatment plant construction

建设规模/( $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	污水厂用地指标(二级处理+深度处理)/( $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}$ )
I类(50~100)	0.50~0.45
II类(20~50)	0.80~0.65
III类(10~20)	0.95~0.80
IV类(5~10)	1.20~0.95
V类(1~5)	1.75~1.20

但以上用地指标仅适用于常规的地上分散式布置的污水处理厂。

地下式污水处理厂相对于常规地上式污水处理厂的一大优势就是节地<sup>[3]</sup>,因此显然不能简单套用上述用地控制指标。

### 1.2 国内地下式污水厂的用地指标分析

国内已建和在建的113座地下式污水处理厂的统计数据对于确定地下式污水厂合理的用地指标范围有很大的参考价值。

虽然各个污水处理厂的设计进出水水质不同、污泥处理要求不同,使得各污水厂的污水及污泥处理工艺选择、工艺路线的长短都有差异,从而影响到污水处理厂的用地大小,但大样本的统计数据总体上还是能够反映出同规模档次污水处理厂的大致用地指标范围。

地下污水厂工艺类型统计见图1。

所统计的113座地下式污水处理厂中,主处理

工艺采用AAO和MBR工艺的占绝大多数,其中采用AAO工艺的污水处理厂约有53座,占比约47%;采用MBR工艺的污水处理厂约有46座,占比约41%。其他的工艺类型则相对较少,包括了MSBR工艺、生物滤池工艺、CASS或MBBR工艺等类型,共有14座,占比约12%。

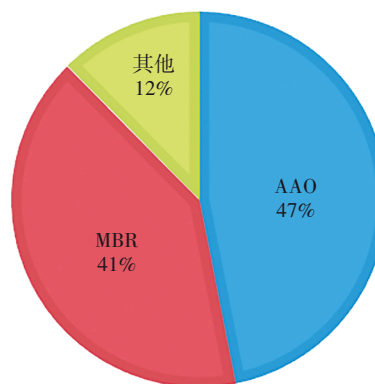


图1 地下污水处理厂工艺类型统计

Fig.1 Process type statistics of underground wastewater treatment plants

所统计的113座地下式污水处理厂中,规模最小的为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。已建成或部分建成的规模最大的为 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,包括北京槐房厂<sup>[4]</sup>、天津东郊厂、上海泰和厂和深圳福田厂。尚处于项目前期阶段的规模最大的是深圳南山厂,规模为 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。各规模档次的污水处理厂数量及占比具体如表2所示。

表2 地下污水处理厂规模统计

Tab.2 Scale statistics of underground wastewater treatment plants

建设规模/( $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	污水厂数量/座	占比/%
$50 \leq \text{规模} \leq 100$	6	5
$20 \leq \text{规模} < 50$	13	12
$10 \leq \text{规模} < 20$	46	41
$5 \leq \text{规模} < 10$	30	26
$1 \leq \text{规模} < 5$	18	16

按照《城市生活垃圾处理和给水与污水处理工程项目建设用地指标》中关于污水厂建设规模的档次划分,现有地下式污水处理厂的用地指标范围如表3所示。

从表3可以看出,同一规模档次的地下式污水处理厂的用地指标差异还是比较大的。原因是多方面的,其中设计进出水水质不同、南北方水质水

温的差异导致工艺路线的长短不同以及设计工艺参数的差异是主要原因。这些污水处理厂中,工艺路线短的仅采用“沉砂池+MBR 生物反应池及膜池+紫外消毒”短处理流程,污水厂的占地面积自然就很小。而工艺路线长的往往要采用“沉砂池+初沉池+AAO 生物反应池+二沉池+中间提升泵房+高效沉淀池+反硝化深床滤池+紫外消毒并辅助加氯消毒”的处理流程,相对前者要多 4~5 个工艺环节,这样的污水厂用地指标肯定相对更大。污泥处理要求的不同也会带来用地指标的差异,比如污泥要求脱水干化到含水率 40% 就比仅要求脱水到 80% 的污泥处理用地要多,污泥区用地面积大约要增加 200%~300%。主体工艺选择的不同也会影响用地的大小,比如选用生物滤池工艺就比活性污泥法要节地。另外,污水厂用地地块的形状是否规整也是影响用地指标的一个重要因素,一个形状不规整、边角多、受各种退让限制多的用地肯定比一个形状规整用地的用地指标要高。当然,一个具体的项目中可能还会有其他一些特殊的情况影响到用地的大小。因此在多种因素的影响下,使得现有地下式污水处理厂的用地指标分布在一个比较大的范围内。

表 3 地下污水处理厂用地指标统计

Tab.3 Statistics of land quota of underground wastewater treatment plants

建设规模/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	用地指标统计值/(m <sup>2</sup> ·m <sup>-3</sup> ·d)		
	最小值	平均值	最大值
I 类(50~100)	0.24	0.47	0.70
II 类(20~50)	0.16	0.39	0.89
III 类(10~20)	0.18	0.44	1.33
IV 类(5~10)	0.18	0.57	1.33
V 类(1~5)	0.30	0.69	1.43

1.3 地下式污水厂用地指标的理论计算

通过理论计算的方式也可以对地下式污水厂的用地指标做个大致研判。

以 10×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d 规模的地下式污水厂为例,目前污水处理采用较常用的“粗格栅进水泵房+细格栅曝气沉砂池+初沉池+AAO 生物反应池+二沉池+中间提升泵房+高效沉淀池+反硝化深床滤池+加氯接触池+出水泵房”流程。污泥处理按处理至含水率 80% 和 40% 两种情况考虑。辅助设施则考虑鼓风机房、加药间、加氯间和变电所等。则各生产及辅

助性建(构)筑物的平面面积计算结果如表 4 所示。

表 4 各生产及辅助性建(构)筑物用地面积测算

Tab.4 Calculation of land area for various production and auxiliary structures

项 目		主要设计参数	计算平面面积 m <sup>2</sup>
污水处理部分	粗格栅及进水泵房	泵房前池调节容积按单泵 10 min 计	401
	细格栅及曝气沉砂池	沉砂池高峰流量的停留时间按 6 min 计	310
	初沉池	设计高峰负荷按 3.0 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h)计	1 806
	AAO 生物反应池	按设计停留时间 17 h、水深 7 m 计	10 119
	二沉池	设计高峰负荷按 0.9 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h)计	6 019
	中间提升泵房	泵房前池调节容积按单泵 10 min 计	201
	高效沉淀池	设计高峰负荷按 14 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h)计	1 141
	深床滤池	设计高峰负荷按 6.7 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h)计	1 617
	加氯接触池	设计停留时间按 40 min 计	617
	出水泵房	泵房前池调节容积按单泵 10 min 计	201
	小计		22 432
污泥处理部分	储泥池+污泥浓缩脱水机房	处理至 80% 含水率,参照同规模典型案例	900
	储泥池+污泥浓缩脱水干化机房	处理至 40% 含水率,参照同规模典型案例	3 500
辅助设施部分	鼓风机房	参照同规模典型案例	700
	加药间	参照同规模典型案例	500
	加氯间	参照同规模典型案例	400
	变电所	参照同规模典型案例	900
	小计	参照同规模典型案例	2 500

整个地下式污水厂的用地面积及指标的测算结果如表 5 所示。

通过以上的粗略计算,可以看出理论计算的单位用地指标基本在现有地下污水处理厂统计值的平均值附近。当然,实际采用的工艺流程、设计参数、地块特点及其他边界条件不同时,单位用地指标也会相应发生变化。比如当采用 MBR 主处理工艺时,两种污泥处理标准下的用地指标理论计算值分别约为 0.383 和 0.430 m<sup>2</sup>/(m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>),设计参数激进一点的情况下该用地指标还能更低。

表5 污水厂用地面积及指标测算

Tab.5 Land area and index calculation of wastewater treatment plants

项 目	污泥脱水至 80%含水率	污泥脱水干化 至40%含水率
地下箱体内建(构)筑物总面积/m <sup>2</sup>	25 830	28 430
地下箱体内管廊面积[以建(构)筑物总面积的10%计]/m <sup>2</sup>	2 583	2 843
地下箱体总面积/m <sup>2</sup>	28 413	31 273
地下箱体退界用地边线的距离/ m	15	15
地下箱体退界范围的用地面积/ m <sup>2</sup>	11 014	11 510
生产区用地总面积(即地下箱体 所在地块)/m <sup>2</sup>	39 427	42 783
厂前区总面积(按箱体所在地块 面积的15%计)/m <sup>2</sup>	5 914	6 417
全厂用地总面积/m <sup>2</sup>	45 341	49 200
地块不规则引起的用地面积增 加比例/%	20	20
考虑地块不规则系数后的全厂 用地面积/m <sup>2</sup>	54 409	59 040
单位用地指标/(m <sup>2</sup> ·m <sup>-3</sup> ·d)	0.544	0.590

#### 1.4 地下式污水厂用地控制指标的建议

节地是地下式污水处理厂的一大优势。在土地资源越来越稀缺的今天,节约土地、释放土地资源也成为国内部分污水处理厂选择集约地下式建设形式的最大初衷。如温州中心片污水处理厂,该厂位于温州市滨江商务区,原处理规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,占地面积约 $22.34 \text{ hm}^2$ 。在污水厂迁建工程中,为节约土地,置换出宝贵的土地资源,新建污水厂采用了半地下式的建设形式。新建污水厂处理规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,排水设施用地缩减到 $10.06 \text{ hm}^2$ ,在处理规模翻倍的情况下还置换出了约 $12.28 \text{ hm}^2$ 土地用于城市的其他开发建设。还有目前正处于前期研究的深圳南山水质净化厂,该厂位于深圳前海,处理规模 $73.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,占地面积约 $42.55 \text{ hm}^2$ 。现拟对水质净化厂进行原位迁建,新建厂处理规模 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,采用全地下式的建设形式,用地缩减至 $21.9 \text{ hm}^2$ ,在处理规模扩大的情况下置换出约 $20.65 \text{ hm}^2$ 土地用于城市的其他开发建设。由此可见,集约用地是今后污水处理厂建设的一大方向。

对于地下式污水厂的用地指标控制目前尚无

相关标准或规定。由于缺乏标准,在过去十余年的地下式污水厂建设中,不同污水厂的实际用地指标差异也较大。部分污水处理厂布置相对集约紧凑,用地很节约,但也有部分污水处理厂的用地指标控制较为宽松,单位用地指标偏高。地下式污水厂的用地指标究竟应该控制在什么样的合理范围?基于现有案例的统计数据和对典型地下式污水处理厂的理论计算结果,笔者建议的地下式污水厂用地控制指标如表6所示。

表6 地下式污水厂的建议用地控制指标

Tab.6 Suggested land quota of underground wastewater treatment plants

建设规模/( $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	地下式污水厂的建议用地控制 指标/( $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}$ )
I类(50~100)	0.35~0.40
II类(20~50)	0.40~0.45
III类(10~20)	0.45~0.60
IV类(5~10)	0.60~0.80
V类(1~5)	0.80~1.20

以上建议指标是城市地下式污水厂用地控制的最大值,原则上不得突破。但对于某些特殊情况,如有工业废水处理需求或污泥有进一步消化或干化处理需求的项目,可以特殊考虑。

## 2 地下污水处理厂设计的节地方向

### 2.1 工艺节地措施

#### ① 工艺路线的选择

总体工艺路线的选择是影响污水厂占地大小的最重要因素,不同的工艺选择会带来不同的占地大小,尤其是二级主处理工艺的选择。从表4和表5的计算结果就可以看出,AAO生物反应池和二沉池的占地面积最大,两个构筑物的面积约占整个地下箱体面积的57%,因此是影响占地的关键。单从节约用地的角度来说,占地从小到大的二级主处理工艺依次是生物滤池工艺、MBR工艺和AAO工艺。生物滤池工艺占地最小,但由于各种原因应用相对较少。拿目前最常用的MBR工艺和AAO工艺来做比较,MBR工艺的“生物反应池+膜池及车间”两个构筑物通常就能代替AAO工艺的“生物反应池+二沉池+中间提升泵房+高效沉淀池”四个构筑物,而且MBR工艺的生物反应池污泥浓度更高,生物反应池还能做得更小。理论计算MBR工艺的两个构筑物能比AAO工艺四个构筑物减少占地约30%~



40%。因此如要最大可能地节约用地,那就首先要选择一个节地的工艺路线。目前国内已建地下式污水厂的工程案例中,MBR工艺的应用数量紧随AAO工艺之后,就充分说明了MBR工艺节地优势的吸引力。

## ② 工艺参数的优化

各个工艺环节的具体选型和工艺设计参数的优化也是实现工程节地的重要措施。在预处理环节,旋流沉砂池就比曝气沉砂池节地。在二级处理环节,可以通过加大生物反应池的设计水深来实现节地。常规生物反应池的设计水深是7 m,现在很多地下污水处理厂的生物反应池设计水深已经做到了9~10 m,相应平面占地面积就能大大缩小。二沉池在常规平流式二沉池的基础上,如采用矩形周进周出二沉池或双层沉淀池,也能够较大地减小用地。在深度处理环节,加介质的高效沉淀池比常规的高效沉淀池节地,滤布滤池比V型滤池或深床滤池节地。实际工程中都可以结合具体情况对各个工艺环节进行比较和选择。

## 2.2 总体布置的节地措施

在工艺路线和工艺参数确定的前提下,还可以通过总体布置的优化来进一步节约用地,主要有以下几个方面的措施:①设计的构筑物形状要规整,尽量避免选用圆形构筑物以减小构筑物之间的无效空间。②充分利用地下式污水处理厂地下操作层的空间,部分建(构)筑物可以采用与下部水池上下叠置的方式来减少占地,如鼓风机房、加药间、加氯间、变电所及控制室等辅助设施都可以考虑布置在水池顶上。③合理规划地下箱体内水、泥、气及放空管路等的路线,尽量使管道集中布置以减少地下箱体内的管廊数量和空间。

## 2.3 地块的综合开发利用

在地下式污水处理厂自身节地的基础上,还可以通过上位规划的引领,通过地上、地下不同的规划用地性质来实现地块的综合开发利用,从而达到节约土地的目的。早期建设的地下式污水处理厂,其上部土地释放出来后一般是作为污水厂内部的景观绿地。后来随着建设理念的逐渐变化,上部地块开始由厂内景观绿地向开放式公园绿地转变。近年来随着土地的不断升值和技术的发展,地下式污水厂的土地综合利用方式又开始了一些新的尝试,包括对地上、地下不同规划用地性质和不同产

权权属的探索,地下污水处理厂建设与地上商业开发相结合等方式,并已经有了具体的工程实例。上海泰和污水处理厂<sup>[5]</sup>在地块规划用地性质和产权权属方面就做了创新性的尝试,该厂所在地块的地下部分规划为市政设施用地性质,用地属于污水处理厂;而地上部分则规划为公共绿地性质,用地权属属于绿化部门,由绿化部门进行建设。在与地上商业开发结合方面,目前已建和在建的代表性项目包括温州中心片污水处理厂、宁波江北污水处理厂和贵阳贵医污水处理厂等。其中,温州中心片污水处理厂的上部地块建设为体育场馆,包括足球场、室内滑雪场等。宁波江北污水处理厂的上部地块建设为工业园区,包括仓储、工业厂房等。贵阳贵医污水处理厂的上部地块更是建设了高层商业综合体,地下部分还与地下停车库相结合。当然,与多用途商业设施的结合对地下式污水处理厂的设计提出了更高的要求,需要从消防、安全、环境等方面做更加妥善的考虑,但不能不说这也是地下式污水处理厂今后的一个发展方向。

## 2.4 需考虑的相关问题

对于地下式污水处理厂的设计来说,节地只是需要考虑的一个方面。具体工程中在确定工艺路线和设计方案时,还要综合考虑安全可靠、运行成本以及运行管理的便利性等多方面因素。拿MBR工艺和AAO工艺的比较来说,尽管MBR工艺比AAO工艺节地,但它也有其短处,比如日常运行管理的工作量相对较大,膜组件需要经常在线或离线清洗,对工程规模较大的污水厂来说工人的日常维护工作量更是大大增加。膜组件寿命在5年左右,需要定期更换,运行能耗也更高,使得其运行成本相对更高。另外MBR工艺抗冲击负荷的能力相对较弱,系统相对复杂,在冲击负荷来临或某个设备故障的情况下,会给地下式污水厂带来比较大的安全风险。所以在目前的地下式污水处理厂中,尽管占地面积更大,但采用AAO工艺的案例还是比采用MBR工艺的略多,说明这也是综合权衡利弊的结果。对于其他的工艺环节,也是同样的道理,在节地的同时必然会有其他方面的一些牺牲。因此,没有绝对完美的工艺和方案,具体的工程设计中,只能结合项目的具体情况对不同的工艺和方案做综合比较,在各种优缺点和风险点之间找一个最佳的平衡点,以实现在项目特定条件下的最大程度

节地。

在地块的综合开发利用方面,目前一些项目中的创新性探索也有待时间的验证。地上、地下不同的规划用地性质和不同的产权权属虽然能够实现一个地块的多重立体开发,但也会带来项目投资、项目建设及后期运营管理中的复杂界面问题。地下式污水处理厂上部的综合商业开发为本来少人值守甚至无人值守的污水厂地块带来了大量的人流和车流,彻底改变了污水处理厂原有的环境生态,这是一个新的问题。这不但要求在整个地块的建设规划上对污水厂的生产管理流线和上部地块的商业活动流线做有效的区分,同时在污水厂设计中需要对消防、安全、环境等方面做重新评估,采取更加妥善的安全措施,以避免污水厂运营对上部商业体的影响。这些问题都有待于在现有工程实践的基础上进一步摸索、验证和总结,最终形成相应的规范和标准。

### 3 结语

地下式污水处理厂在国内的推广正如火如荼,现在有的省份要求规模 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 以上的新建污水处理厂要优先考虑采用地下式的建设形式。但总的来说,地下式污水处理厂在国内的引进和推广也才十余年时间,从设计到建设到运营都还有许多内容需要去研究、探索和总结。比如对于地下式污水厂的用地控制指标,笔者仅根据数据的统计分析提出了个人的观点,建议后续相关部门再通过更进一步的研究和论证,对此形成相应的规划建设标准。相信今后随着业内对地下式污水处理厂认识的不断深入及实际建设和运营经验的不断积累,国内的地下式污水处理厂建设会更加理性、完善,形式也更为多样,从而能更好地发挥出地下式污水处理厂的优势和综合效益。

### 参考文献:

- [1] 张学兵,陈雯,阳佳中,等. 深圳市布吉污水处理厂工程建设及设计特点[J]. 给水排水, 2008, 34(8):

25-27.

ZHANG Xuebing, CHEN Wen, YANG Jiazhong, *et al.* Features concerning construction and design of Shenzhen Buji wastewater treatment plant[J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34(8): 25-27(in Chinese).

- [2] 汪传新,邱维. 广州京溪地下污水处理厂建设实践与思考[J]. 中国给水排水, 2011, 27(8): 10-13.

WANG Chuanxin, QIU Wei. Construction practice and thinking of Guangzhou Jingxi underground WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(8): 10-13 (in Chinese).

- [3] 谭学军,唐利,郭东军. 地下污水处理厂优势分析与前景展望[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(8): 1313-1319, 1345.

TAN Xuejun, TANG Li, GUO Dongjun. Analysis and prospect of underground sewage treatment plant [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2006, 2(8): 1313-1319, 1345(in Chinese).

- [4] 温爱东,王海波,李振川,等. 大型地下式MBR工艺设计重难点分析[J]. 给水排水, 2016, 42(6): 27-30.

WEN Aidong, WANG Haibo, LI Zhenchuan, *et al.* Key and difficulty points design of a large scale underground MBR process [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(6): 27-30(in Chinese).

- [5] 陈秀成,牛天浩. 上海泰和全地下大型污水处理厂工艺设计要点及特点解析[J]. 中国给水排水, 2021, 37(10): 83-88.

CHEN Xiucheng, NIU Tianhao. Key points and characteristics of process design of Taihe underground large sewage treatment plant in Shanghai [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(10): 83-88 (in Chinese).

**作者简介:**陈秀成(1974—),男,四川眉山人,硕士,高级工程师,上海市政工程设计研究总院第三设计研究院副总工程师,主要从事排水工程规划设计等工作。

**E-mail:** chenxiucheng@smedi.com

**收稿日期:** 2021-11-10

**修回日期:** 2021-12-05

(编辑:孔红春)