

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.06.012

# 极限用地条件下污水处理厂改扩建设计解决案例

陈永玲<sup>1</sup>, 吴宝利<sup>1</sup>, 杨睿<sup>1</sup>, 吉喆喆<sup>2</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 天津科信诚市政工程设计有限公司, 天津 300384)

**摘要:** 青岛市城阳区某污水处理厂需在4.48 hm<sup>2</sup>的可用地范围内,完成规模10×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d扩建、5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d改建工程,出水执行一级A标准,且要求工程建设不影响污水厂的正常运行。设计中采用高效集约的“五段Bardenpho+MBR”工艺保证出水达标;采取拆旧立新的措施获取土地资源;采用拆分规模、将同功能构筑物(生物池、MBR膜池)布置于不同区域,区域内多组构筑物(预处理段、生物处理段)联建,以渠道连接进出水的方式提高空间利用率;设计优化施工顺序,实现了工程建设期不停产、水量水质达标的建设要求。运行实践表明,本工程所选取的处理工艺和设计参数抗冲击负荷能力强、可靠度高、处理效果优异,能够确保出水水质达标。

**关键词:** 污水处理厂扩建; 不停产施工; 极限用地

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)06-0078-05

## Design and Solution Case of Wastewater Treatment Plant Reconstruction and Expansion under the Condition of Extreme Limited Land Use

CHEN Yong-ling<sup>1</sup>, WU Bao-li<sup>1</sup>, YANG Rui<sup>1</sup>, JI Zhe-zhe<sup>2</sup>

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. Tianjin Kexincheng Municipal Engineering Design Co. Ltd., Tianjin 300384, China)

**Abstract:** An expansion project (10×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d) and reconstruction project (5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d) were constructed in a WWTP in Chengyang District, Qingdao. The available land area is 4.48 hm<sup>2</sup>, the effluent quality needs to meet the first level A limit specified in the national discharge standard, and the construction is required not to affect the normal operation of the WWTP. In the design, the efficient and intensive “five-stage Bardenpho and MBR” process was adopted to ensure that the effluent quality reaches the discharge standard. The construction area was obtained by demolishing the old facilities. The following ways were adopted to improve the space utilization rate: splitting the scale and arrange the same functional structures (biological tank, MBR membrane tank) in different areas; Joint construction of multiple groups of structures (pretreatment section and biological treatment section); Connection of the inlet and outlet water through channels. The construction sequence was optimized in the design, and the requirements of non-stop production and reaching the effluent quality and quantity standard were realized during the construction period. The operation practice showed that the treatment process and design parameters selected in this project had strong impact load resistance, high reliability, excellent treatment performance, and was capable of ensuring the effluent quality meeting the discharge standard.

**Key words:** expansion of WWTP; non-stop production construction; extreme limited land use

青岛市城阳区某污水处理厂自2002年—2015年历经三期工程建设,规模达 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。2017年该厂已基本满负荷运行,亟需扩建以免因超负荷污水溢流而导致水体污染。

## 1 工程概况

工程总规模  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 其中扩建工程  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 改造工程  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 出水执行一级 A 标准。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**  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
进水	450	200	300	45	55	7
出水	50	10	10	5	15	0.5

一、二、三期工程处理能力已达上限,无挖潜分担处理规模的可能;一、二期工程厂内用地饱和,无提供可用土地的可能;同时,根据规划要求,不允许新征用地,因此本工程只能在三期工程用地范围内寻求建设空间。三期工程现状用地条件见图1。

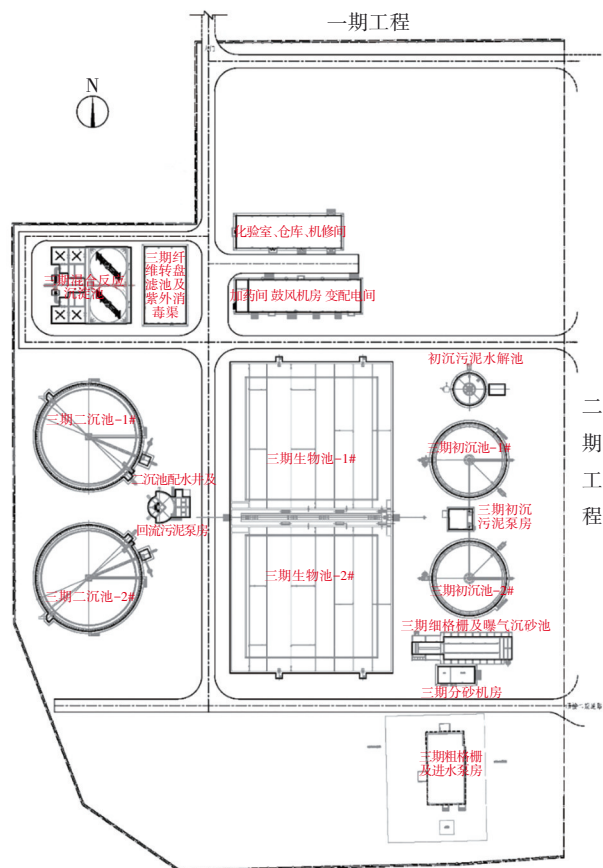


图1 三期工程现状用地条件

**Fig.1 Current land use condition of the phase III project**

三期工程厂内剩余可用地面积4.48 hm<sup>2</sup>。因前三期工程均已达满负荷运行,无力彼此分担负荷,故要求在工程建设期间不停产,并尽可能减少工程建设对生产运行的影响。

## 2 极限用地条件下的设计解决方案

极小的用地面积和不停产的运行要求,同时还须设置必要的车行道和巡视道,以满足同一厂区内工程建设、消防、车辆运输(包括工程车辆和药剂/污泥车辆)、管理人员巡检等多种功能需求,一定程度上限制了工艺选择的广度,并给工程建设带来了巨大的挑战。

### 2.1 多举措并施解决建设用地问题

① 在工艺选择方面,选择了处理效率高、集约化程度高、运行稳定可靠的深度除碳、脱氮、除磷工艺——“五段 Bardenpho+MBR”工艺<sup>[1]</sup>。其中:新建预处理段和生物池规模  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,新建 MBR 规模  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,改造生物处理规模  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。扩建工程工艺流程见图 2。

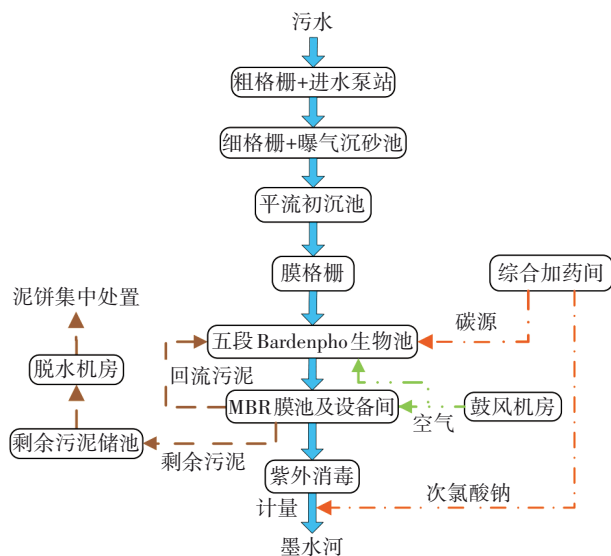


图2 扩建工程工艺流程

**Fig.2 Process flow chart of expansion project**

② 在获取土地资源方面,为赢得必要的建设用地,采取了拆旧立新的措施——拆除与扩建工程处理工艺不匹配的原处理构筑物,如:二沉池(含配水井和回流污泥泵房)、混合反应沉淀池、纤维转盘滤池和紫外消毒槽。

③ 在总图布置方面,为保证工程建设期不停产,采取了拆分同功能构筑物,布置于不同区域的措施,如:将新建 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 生物池拆分为两座 $5\times$

10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d生物池,分别设置于厂区北侧空地(新建1#生物池)和厂区西侧拆除原三期工程二沉池后的原址上(新建2#生物池);将新建15×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d MBR膜池设备间拆分为一座10×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d和一座5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,分别设置于厂区北侧空地(新建1#膜池设备间,服务于新建1#生物池和原三期生物池)和厂区西侧拆除原三期工程二沉池、混合反应沉淀池及纤维转盘滤池等设施后的原址上(新建2#膜池设备间,服务于新建2#生物池)。工程平面布置见图3。

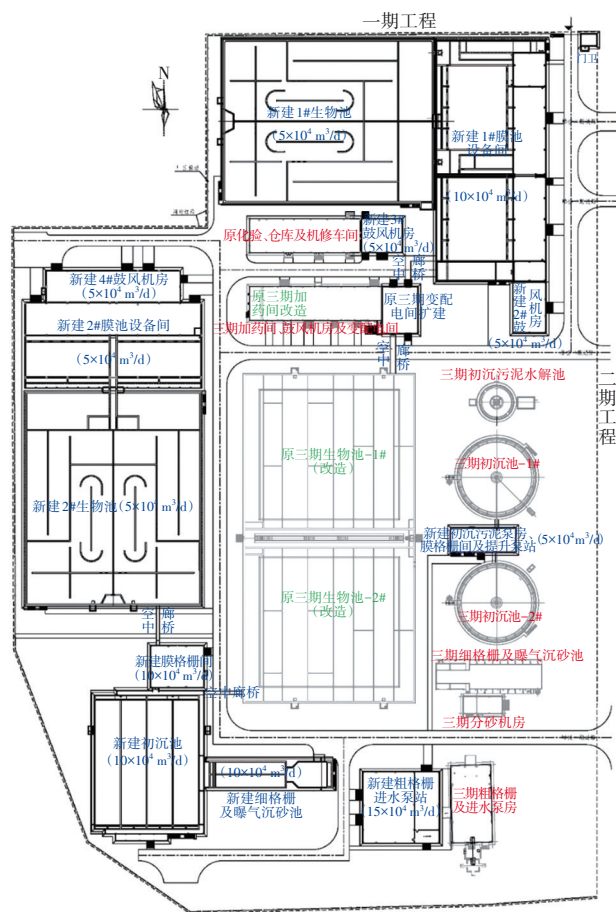


图3 工程平面布置

Fig.3 Project plane layout

④ 在空间利用方面,为节省地下管道占位,采取了集中布置不同处理段构筑物,同区域内多组构筑物联建,以渠道连接各构筑物进出水的设计方式,在最大限度地节省空间的同时也降低了水头损失,节约了能耗。如:将新建10×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d预处理设施(细格栅及曝气沉砂池、平流初沉池、膜格栅间)联建,集中布置在厂区西南角空地上,并以渠道连接进出水;将1#生物池、1#膜池设备间、2#鼓风机房(服务于1#膜池)联建;将2#生物池、2#膜池设备间、

4#鼓风机房(服务于2#生物池和2#膜池)联建。

通过上述措施,在极为有限的用地条件下,实现了水质水量达标设计并满足了工程建设期不停产的要求。本工程实际用地面积4.14 hm<sup>2</sup>。

## 2.2 设计先行,合理规划,优化施工顺序

为达到工程建设期不停产的目标,在设计之初就考虑了施工顺序的问题,如上述根据厂内空地位置和面积,合理拆分相同功能的构筑物,紧凑布置于不同区域的设计方案。

在建设过程中,除合理安排新建、拆除、改造、通水的顺序外,还采取了合理制定施工组织方案、优化施工顺序等措施,采取分步建设、分步通水的方法,实现工程建设过程中不停产、最终达到设计规模运行的目标。施工顺序大致如下:

① 第一步:在厂区西南角空地上新建10×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d规模细格栅及曝气沉砂池+初沉池+膜格栅间(联建);现有进水泵站西侧空地上新建15×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d规模粗格栅及进水泵站;厂区东北角空地上新建5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d规模1#生物池+10×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d规模1#MBR膜池设备间(联建,1#MBR膜池服务于新建1#生物池和原三期生物池);1#膜池综合设备间南侧贴建2#鼓风机房(服务于1#MBR膜池);原三期化验、仓库及机修间东侧贴建3#鼓风机房(服务于1#生物池)。

② 第二步:拆除厂区西部原有二沉池、混合反应沉淀池、纤维转盘滤池,原址建设规模均为5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d的2#生物池+2#MBR膜池设备间+4#鼓风机房(联建,4#鼓风机房服务于2#生物池和2#MBR膜池)。改造原三期加药间;厂区变配电系统改扩建。

③ 第三步:改造现有生物池以适应现有系统的污泥回流需求;拆除原有初沉池污泥泵房,原址建设5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d规模的服务于老系统的初沉污泥泵房+膜格栅间+提升泵站(合建)。

通过以上分步建设、分步通水,最终实现顺利通水运行。

## 2.3 巧妙构思,微量改造

① 为满足新系统对水力流程的要求和MBR工艺对进水悬浮固体的要求,原系统须增设二次提升泵站和膜格栅间。鉴于扩建工程处理设施布置完成后,厂内已无地可用的情况,同时尽可能避免管道迂回而增加水头损失和施工难度,在将原初沉污泥排放泵房拆除后的狭小空间内,利用空间高度巧妙组合初沉污泥排放泵房、膜格栅间和二次提升



泵站,同时满足了原系统初沉污泥排放需求和新系统后续MBR工艺对进水水质和水力流程的要求。

② 原三期生物池处理规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,为多点进水多级AO池型,污泥回流比为100%,运行效果良好。本工程拆除原二沉池后,外回流由原二沉污泥改为MBR膜池混合液,回流比400%,且回流管方向不同。设计中仅对原生物池进行了微量改造,使其适应新系统的污泥回流比,主要包括:废弃原外回流管道、封堵回流污泥进入生物池的洞口;在原污泥回流点旁新开洞口引入新的外回流管道;扩大原导流隔墙过水洞口。原生物池分为可独立运行的2格,改造亦分格进行。

#### 2.4 设置空中廊桥,方便管理人员巡检

① 设计中根据用地条件和工艺流程,合理布局各单体构筑物,紧凑布置于厂区不同区域,区域内构筑物联建,以渠道连接进出水(亦可作为区域内巡检通道),在大大节省占地的同时降低了水头损失,节约了运行电耗。

② 区域间构筑物以空中连廊连接,避免了运行人员频繁上下各构筑物,方便了管理巡视。

#### 2.5 改良工艺设计,强化处理效果

① 对五段Bardenpho工艺进行改良设计

a. 由于生物池后接MBR膜池,故取消了后好氧区,并在厌氧区前增设预缺氧区,以尽可能消除回流混合液中硝酸盐对生物除磷的不利影响。按预缺氧区/厌氧区/缺氧区/好氧区/缺氧区的顺序依次布置各区域<sup>[2]</sup>。

b. 采用多点进水<sup>[3]</sup>:在预缺氧区、厌氧区、第一缺氧区、后缺氧区均设置了进水点,方便根据进水水质灵活调整进水点和各点进水量,从而提高原水中碳源的利用率,降低外加碳源使用量;外加碳源投加点设置在第一缺氧区和后缺氧区前端,以便运行中根据进水水质灵活选择投药点,在确保TN达标的同时尽可能节约药耗。

c. 高污泥浓度、低曝气溶氧运行,短程硝化反硝化<sup>[4]</sup>和厌氧氨氧化<sup>[5]</sup>脱氮反应得以在实际工程中稳定呈现,在极低外加碳源量、低电耗条件下,实现了生物池内碳、氮污染物的一步达标去除,节约了运行费用。

② 采用两点投药化学除磷

投加点分别设置在初沉池前端和生物池好氧区,克服了MBR工艺化学除磷效果欠佳的先天缺陷,

确保出水TP稳定达标。

### 3 核心构筑物设计参数

#### 3.1 新建1#、2#生物池

设计规模均为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,采用改良五段Bardenpho池型,单座分为2组。

设计参数:缺氧+好氧设计泥龄15 d;污泥负荷 $0.075 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ;名义水力停留时间18 h;最大曝气量 $17\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ;混合液最大回流比400%;好氧区分为三条廊道,各廊道供气比例分别为50%、35%、15%,采用穿孔曝气管曝气。混合液按MBR→好氧区→第一缺氧区→预缺氧区的顺序逐级回流,回流比依次为400%、300%、200%。

#### 3.2 新建1#膜池设备间

新建1#膜池设备间1座,设计规模 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

1#膜池设备间由如下功能部分组成:

① MBR过滤系统:1#MBR膜池分为2组,独立运行,每组规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,分别对应于1#生物池和原三期生物池,每组设8条廊道,并列运行,每条廊道安装10套超滤膜组件,预留1套空位。膜孔径 $\leq 0.1 \mu\text{m}$ ,设计平均膜通量 $17.35 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

② 混合液回流泵站:与膜池合建,每组膜池对应一座,采用潜水轴流泵,回流比400%。

③ 综合设备间:与膜池合建,内设产水泵、反洗泵、循环清洗/排空泵及化学清洗系统、空压机系统、抽真空系统等。

④ 剩余污泥泵及除臭污泥泵:剩余污泥泵设置在综合设备间内,采用干式离心泵;除臭污泥回流泵设置在混合液回流泵站内,采用潜水泵,回流点位于粗格栅进水井,服务于全厂。

⑤ 厂区回用水系统:厂区回用水泵设置在综合设备间内,采用立式离心泵,服务于全厂。

⑥ 紫外消毒系统:采用管式紫外消毒器。

#### 3.3 新建2#膜池设备间

新建2#膜池设备间1座,设计规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2#膜池设备间不设除臭污泥回流泵和厂区回用水泵,其余功能组成同1#膜池设备间。

### 4 运行效果分析

本工程于2020年8月通水运行,运行状况稳定良好,且本工程通水即达到设计规模。2020年8月1日—2021年7月31日进水量统计见表2,实际进、出水水质见表3。

表2 实际进水量

Tab.2 Actual influent quantity

 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 

项 目	2020年 8月	2020年 9月	2020年 10月	2020年 11月	2020年 12月	2021年 1月	2021 年2月	2021年 3月	2021年 4月	2021年 5月	2021年 6月	2021年 7月
最大值	164 380	141 612	113 876	135 396	118 465	118 465	95 891	144 148	125 348	123 319	123 920	146 750
最小值	129 082	59 011	90 762	76 546	89 539	76 406	59 011	76 287	86 261	76 416	88 506	87 295
平均值	143 421	127 746	104 866	105 289	102 078	97 520	74 860	101 035	98 632	102 734	102 509	112 949

表3 实际进、出水水质统计结果

Tab.3 Statistical results of actual influent and

effluent quality

 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 

项 目		BOD <sub>5</sub>	COD	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
进 水	95%保证率	164.17	375.37	186.41	40.35	40.18	8.80
	90%保证率	144.10	327.34	164.25	35.92	36.28	7.64
	平均值	97.20	217.10	111.48	24.88	26.18	4.95
出 水	最大值	5.00	34.00	4.00	1.55	14.10	0.43
	最小值	1.00	8.00	1.00	0.02	0.06	0.04
	平均值	2.24	18.85	1.90	0.63	8.74	0.23

由表3可见,实际进水水质与设计值有一定程度的偏差,各指标均呈现波动较大的特点。在95%保证率下,进水水质基本达到设计值。实际出水水质全年稳定达标。

运行表明:本工程水力负荷和污染负荷均已达设计标准,污水厂运行不存在“大马拉小车”现象;所选取的处理工艺和设计参数抗冲击负荷能力强,可靠度高,处理效果优异,能够确保出水水质达标。

## 5 结语

本案例设计总规模  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,其中扩建工程规模  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,改造工程规模  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,采用“五段 Bardenpho+MBR”工艺。采用同区域内构筑物联建、分步建设、分步通水的方式实现了工程建设过程中不停产,最终达到设计规模运行的目标,工程实际占地面积  $4.14 \text{ hm}^2$ 。运行实践表明,该工艺处理效果优异,系统运行稳定,抗冲击负荷能力强,出水各项指标均达到了设计要求。

## 参考文献:

- [1] 郑兴灿,李亚新. 污水除磷脱氮技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998:129-130,209-211.
- ZHENG Xingcan, LI Yaxin. Phosphorus and Nitrogen Removal Technology of Sewage [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1998: 129-130, 209-211 (in Chinese).

- [2] 郑兴灿. 城市污水处理技术决策与典型案例[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007:32-37.

ZHENG Xingcan. Urban Sewage Treatment Technology Decision and Typical Cases [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2007: 32-37 (in Chinese).

- [3] 陈永玲,李伟,王丹. 高排放标准要求下污水处理厂的设计运行分析[J]. 给水排水,2017,43(7):7-11.

CHEN Yongling, LI Wei, WANG Dan. Design and operation of wastewater treatment plant in stringent discharge standard[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(7): 7-11 (in Chinese).

- [4] 祝贵兵,彭永臻,郭建华. 短程硝化反硝化生物脱氮技术[J]. 哈尔滨工业大学学报,2008,40(10):1552-1557.

ZHU Guibing, PENG Yongzhen, GUO Jianhua. Biological nitrogen removal with nitrification and denitrification via nitrite pathway [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2008, 40(10): 1552-1557 (in Chinese).

- [5] 彭永臻,阮蓉蓉,彭轶. 梯度递减曝气实现一体化部分短程硝化、厌氧氨氧化耦合反硝化工艺(SPNAD)的稳定运行[J]. 北京工业大学学报,2020,46(6):540-545.

PENG Yongzhen, RUAN Rongrong, PENG Yi. Long-term performance of single-stage partial nitritation, anammox and denitrification process (SPNAD) applying with multi-section declined aeration [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2020, 46(6): 540-545 (in Chinese).

作者简介:陈永玲(1975- ),女,天津人,硕士,高级工程师,从事市政污水处理厂、市政净水厂工程设计工作。

E-mail:chenyongling98@cemi.com.cn  
cyl980713@163.com

收稿日期:2022-06-21

修回日期:2022-08-30

(编辑:孔红春)