

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.20.011

# 浙江某污水厂准IV类提标改造 MBBR + DBDF 工艺设计

王正法, 申屠俊杰, 蔡鹏翔

(杭州市城建设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310007)

**摘要:** 浙江某城市污水处理厂总规模  $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 分三期建设, 其中一、二期共  $4.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 主体工艺为改良式 SBR 工艺, 出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 标准。本次提标改造要求出水达到浙江省地方标准《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 33/2169—2018)。针对厂区可用土地少、改造时间短的特点, 提标改造工程采用 A/A/O + MBBR + DBDF(反硝化深床滤池) 组合工艺。改造完成后, 污水厂运行稳定, 各项出水指标均达到设计标准。

**关键词:** 提标改造; A/A/O + MBBR + DBDF 工艺; 工程效果

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)20-0061-05

## Design of MBBR/DBDF Process for Quasi-IV Upgrading and Reconstruction of a Wastewater Treatment Plant in Zhejiang

WANG Zheng-fa, SHENTU Jun-jie, CAI Peng-xiang

(Architectural & Civil Engineering Design Institute Co. Ltd., Hangzhou China, Hangzhou 310007, China)

**Abstract:** The total scale of a municipal wastewater treatment plant in Zhejiang Province is  $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , which is divided into three phases, of which the first and the second phases are  $4.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . The main process is modified SBR process, and the effluent quality was required to meet the first level B criteria specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). However, the discharge standard is required to upgrade to the local standard of Zhejiang Province *Discharge Standard of Major Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (DB 33/2169 - 2018). Owing to the limited footprint and short construction term, the combined process of A/A/O, MBBR and DBDF was finally adopted in the upgrading project. The wastewater treatment plant runs stably after the reconstruction, and all indexes in the effluent reach the design standards.

**Key words:** upgrading and reconstruction; A/A/O + MBBR + DBDF process; engineering effect

浙江某城市污水处理厂总规模  $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 一期工程  $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  于 2009 年建成投产, 二期工程新增  $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  于 2014 年底建成投产, 主体工艺均为改良式 SBR 工艺, 出水执行一级 B 排放标准。本期提标改造工程要求出水水质达到浙江省地方标准《城镇污水处理厂主要水污染物排放标

准》(DB 33/2169—2018), 为准 IV 类地表水标准。

### 1 污水厂现状

现状污水处理厂总占地面积  $82\,655 \text{ m}^2$ , 其中一、二期  $4.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  处理规模占地面积为  $35\,789 \text{ m}^2$ , 进水中城区生活污水约占 75%, 工业废水占 25%, 出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》

(GB 18918—2002)一级 B 标准。主体工艺采用改良式 SBR 工艺 + 紫外线消毒,污泥浓缩、脱水后外运。工艺流程见图 1。

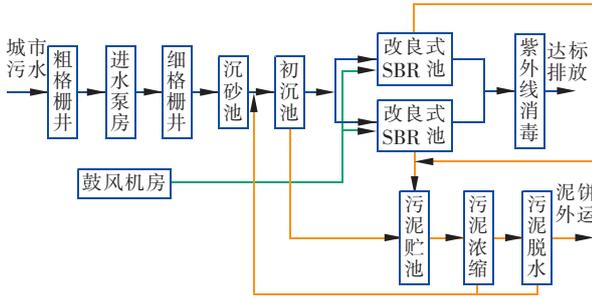


图 1 现状工艺流程

Fig. 1 Current process flow chart

表 1 进水年平均(AA)及进水年最大 60 天平均(M60A)水质

Tab. 1 Annual average and maximum 60 day average influent quality

mg · L<sup>-1</sup>

项目	COD		BOD <sub>5</sub>		NH <sub>3</sub> - N		TN		TP		SS	
	AA	M60A	AA	M60A	AA	M60A	AA	M60A	AA	M60A	AA	M60A
平均	208	300	98	141	16	25	20	31	1.8	2.4	104	155
原设计进水	350		200		35		40		4		220	

表 2 污水处理厂实际出水水质

Tab. 2 Actual effluent quality of WWTP

mg · L<sup>-1</sup>

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> - N	TN	TP	SS
2014 年	26.4	4.53	2.94	15.2	0.82	10.4
2015 年	24.7	4.21	2.15	14.9	0.93	9.8
2016 年	25.9	4.38	3.56	15.3	0.84	11.6
平均	25.7	4.37	2.90	15.1	0.86	10.6

## 2 提标改造设计进、出水水质

考虑到周边工业园区正在建设中,今后工业废水的比重将会逐步增加,同时参照浙江省周边类似污水厂实际运行进水水质情况,通过综合分析比较后确定本项目设计进水水质仍采用原设计值,提标改造后出水执行浙江省地方标准。具体设计进、出水水质见表 3。

表 3 设计进、出水水质

Tab. 3 Design influent and effluent quality

mg · L<sup>-1</sup>

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> - N	TN	TP	SS
进水	350	200	35	40	4	220
出水	30	6	1.5(2.5)	12(15)	0.3	5

注: 每年 12 月 1 日—3 月 31 日执行括号内标准。

## 3 提标改造基本思路及工艺确定

提标改造工程应充分利用现有构筑物、设备及

现厂区内除初沉池和 SBR 池按 4.0 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d 规模建设外,其余构(建)筑物均按 8.0 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d 一次建成。该污水厂 2011 年—2016 年年平均(AA)及年最大 60 天平均(M60A)进水水质见表 1。

项目建成后运行正常,各项指标均达到或优于设计标准,2014 年—2016 年污水处理厂实际出水水质见表 2。

统计分析显示,目前进水浓度总体较低,但污染物浓度变化较大,主要原因有两个:一是老城区雨、污分流不彻底,雨天大量雨水进入污水管道,导致进厂污水浓度较低;二是部分工业废水的排放随生产季节变化较大,尤其是食品及农产品加工业,生产时浓度大幅提高。

管线等,采用技术成熟、经济合理、占地省、改造工期短的工艺,确保施工期间污水厂的连续运行,尽量避免减产或停产。

### 3.1 重点水质指标分析

对比表 2 和表 3 可知,NH<sub>3</sub> - N、TN、TP、SS 指标是改造重点。对国内大量污水处理厂的调研结果表明,目前污水处理厂二沉池出水的 COD、BOD<sub>5</sub> 和 NH<sub>3</sub> - N 基本能够达到一级 A 标准,通过强化二级生化单元可进一步提高这三者的去除效率。而对于 TN、TP 和 SS 而言,大部分污水处理厂都只能勉强达到一级 B 标准,TN、TP 这两个指标可在强化生化处理的同时,通过深度处理单元来进一步去除,而 SS 必须通过深度处理才能满足更高的出水要求。

### 3.2 提标改造工艺措施

为有效提高不同污染因子的处理效率,达到目标出水水质要求,通常采用强化二级生化处理及新增深度处理设施来完成。

强化二级生化处理重点是提高对 COD、BOD<sub>5</sub> 和 NH<sub>3</sub> - N 的处理效率,兼顾 TN 和 TP 的去除率。具体措施有:①缩放功能区,调整厌氧区和缺氧区的配置;②多点进水,优化进水有限碳源配置;③改变回流点位,调整污泥回流方式,改变二级处理生化池各功能区顺序;④增设填料,实现泥膜共生,为微生

物生长提供丰富的环境,目前国内污水厂提标改造应用较多的 MBBR 工艺,通过向反应器中投加一定数量的悬浮载体,提高反应器中的生物量及生物种类,从而提高反应器的处理效率,具有容积负荷高、耐冲击性强、无需增加用地、运行维护简单的特点<sup>[1]</sup>;⑤投加专属微生物,有针对性地提高污染物处理效率;⑥曝气器改造,通过选用高效曝气器及曝气系统改造,提高系统充氧能力和氧转移能力;⑦优化运行技术(增加污泥浓度、提高 DO、调整过渡区运行方式等)。

深度处理工艺主要针对二级处理无法进一步去除的 SS、TP 和 TN。国内应用较多的处理工艺有:① MBR 工艺,具有出水水质好、占地省、剩余污泥少、运行管理方便的特点,但相对造价高、能耗高<sup>[2]</sup>;②

BAF 工艺,具有出水水质好、占地省、抗冲击能力强、运行管理方便的特点,但出水 SS 一般小于 10 mg/L,且运行成本相对较高<sup>[3]</sup>;③ DBDF(反硝化深床滤池)工艺,与曝气生物滤池相比,DBDF 无需在滤池中增加曝气设备,仅设计用于气水联合反冲洗的设备。反硝化滤池不但有较好的硝酸盐去除效果,并且具有出水水质好、占地面积小、处理效率高、工程投资费用少、运行管理方便等优点,近年来在污水处理厂提标改造中应用较多<sup>[4]</sup>。

### 3.3 工艺流程确定

针对本项目处理水质要求高、厂区可用土地少且改造时间短的难点,进行了为期 60 天的中试,最终确定采用 A/A/O + MBBR + 反硝化深床滤池组合工艺,工艺流程见图 2。

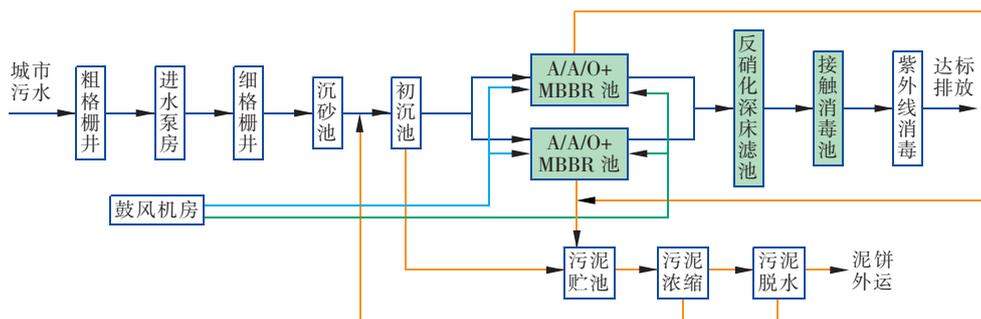


图 2 改造后工艺流程

Fig. 2 Process flow chart after reconstruction

## 4 提标改造工艺设计

### 4.1 生化池改造

① 改造前 SBR 池平面布置见图 3。

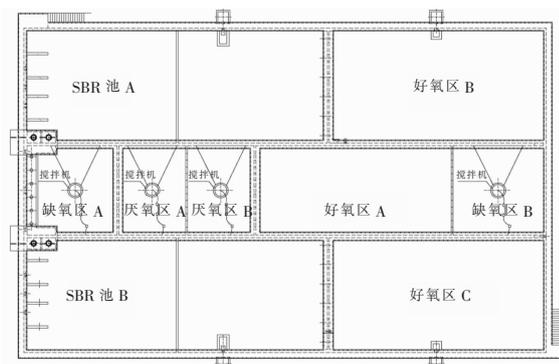


图 3 现状 SBR 池平面布置

Fig. 3 Current layout of SBR tank

现状 SBR 池由厌氧区、缺氧区、主曝气区、序批区组成,其中厌氧区、缺氧区、主曝气区均连续运行,2 个序批区间歇运行,其运行周期由搅拌、曝气、预

沉、沉淀排水四阶段组成,其中搅拌、曝气环节分别对应缺氧和好氧工序,各阶段持续时间可根据水质情况调整。

② 保持原 SBR 池整体结构基本不变,通过调整池内功能分区,将 SBR 池改造成 A/A/O + MBBR 池,具体措施为:a. 原有缺氧 A 区改为厌氧区,现有污泥回流泵保持不变,回流污泥补充系统的活性污泥浓度;b. 原有厌氧 A、厌氧 B、好氧 A 和缺氧 B 共同作为新的缺氧区,充分利用原水碳源进行反硝化作用,其中好氧 A 区拆除现有曝气器并新增隔墙及 2 台搅拌器;c. 原有好氧 B 和好氧 C 投加悬浮填料,设置进出水拦截筛网和部分辅助曝气系统,利用生物膜和活性污泥的共同作用去除有机物和氨氮,同时在拦截筛网后端设置回流至缺氧区前端的内回流系统;d. 原有 SBR 池 A 池、B 池运行方式不变,必要时调整运行时序,保证 TN 达标。改造后 A/A/O + MBBR 池平面布置见图 4。

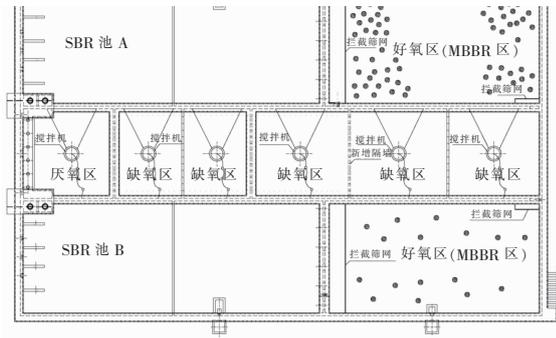


图 4 改造后 A/A/O + MBBR 池平面布置

Fig. 4 Layout of A/A/O + MBBR tank after reconstruction

③ 设计选用的悬浮填料性能参数:有效比表面积  $>620 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , 密度为  $0.94 \sim 0.97 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 直径  $(25 \pm 1) \text{ mm}$ , 长度  $(10 \pm 1) \text{ mm}$ , 寿命  $\geq 15 \text{ a}$ 。

④ 曝气系统改造:原有 SBR 池内的曝气系统基本保持现状,新增一套 MBBR 工艺所需的独立曝气系统,采用 ABS 穿孔管曝气,增加变频风机 2 台(1 用 1 备),供气能力为  $100 \text{ m}^3/\text{min}$ ,风压  $70 \text{ kPa}$ 。

⑤ 结合项目中试情况,生化池改造主要设计参数:污泥负荷为  $0.2 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ;污泥浓度 (MLSS) 为  $3.5 \text{ g}/\text{L}$ ;厌氧区、缺氧区、好氧区水力停留时间分别为  $1.1, 4.7, 6.2 \text{ h}$ ;污泥产率系数为  $0.6 \text{ kgVSS}/\text{kgBOD}_5$ ;脱氮速率为  $0.03 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ;混合液回流比为  $200\%$ ;污泥回流比为  $100\%$ 。

#### 4.2 反硝化深床滤池

反硝化深床滤池是集物理过滤、微絮凝过滤除磷、反硝化生物脱氮功能为一体的深度处理工艺,反硝化微生物生长在滤料的表面,在兼性 - 无氧条件下将污水中的硝态氮转化成气态氮,同时通过投加 PAC 进行化学除磷。

① 主要设计参数:设计规模  $4.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;正常滤速  $3.9 \text{ m}/\text{h}$ ;单格滤池尺寸  $24 \text{ m} \times 3.56 \text{ m} \times$

$6.03 \text{ m}$ ,共 5 格;滤料层厚度(不含承托层) $1.83 \text{ m}$ 。

② 滤料选择:滤料采用高纯度硅砂,硅石含量不少于  $95\%$ ,有效粒径为  $2 \sim 4 \text{ mm}$ ,球形度  $\geq 0.8$ ,密度  $\geq 2.6 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,均匀系数  $(K_{60}) \leq 1.40$ ,莫氏硬度为  $6 \sim 7$ ,酸溶度  $\leq 3\%$ 。

③ 气水反冲洗系统:设计气冲洗强度  $25 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ,选用罗茨鼓风机  $(Q = 65 \text{ m}^3/\text{min}, P = 68.8 \text{ kPa}, N = 110 \text{ kW})$  3 台(2 用 1 备);设计水冲洗强度  $4.17 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。选用离心水泵 3 台(2 用 1 备), $Q = 65 \text{ m}^3/\text{h}, H = 100 \text{ kPa}, N = 30 \text{ kW}$ 。

④ 反硝化脱氮:滤池反硝化负荷为  $0.45 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ,水力负荷  $3.9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,外加碳源采用乙酸钠,投加浓度  $25\%$ ,选用乙酸钠一体化设备  $(8.0 \sim 70 \text{ kg}/\text{h}, N = 5.0 \text{ kW})$  2 套(1 用 1 备),投加点设在滤池进水渠前混合池内。

⑤ 化学除磷:按去除  $1.2 \text{ mg}/\text{L}$  总磷设计,絮凝剂采用 PAC,选用絮凝剂投加泵  $(Q = 1000 \text{ L}/\text{h}, H = 300 \text{ kPa}, N = 1.5 \text{ kW})$  2 台(1 用 1 备),絮凝剂储罐  $(\text{Ø}2000 \text{ mm}, H = 3.1 \text{ m}, V = 9.4 \text{ m}^3)$  1 个,投加点设在滤池进水渠前混合池内。

#### 4.3 接触消毒池

由于原紫外线消毒渠按一级 B 标准建设,考虑到升级改造的难度、效果及成本因素,经综合分析比较后确定采用次氯酸钠消毒,原紫外线消毒池作为应急备用消毒设施。新增次氯酸钠消毒池尺寸为  $21.8 \text{ m} \times 14.7 \text{ m} \times 4.3 \text{ m}$ ,设计停留时间为  $30 \text{ min}$ 。

#### 4.4 工程实施步骤

① 中试:进水流量  $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ ,同比例缩小生化池各分区池容,重点验证改造后 A/A/O + MBBR 工艺对污染物的处理效果。中试进水按三种情况分别进行试验:现状水质;模拟设计水质;水量超负荷  $(140\%)$ 。中试出水水质见表 4。

表 4 中试生化池出水水质

Tab. 4 Effluent quality of pilot biochemical tank

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

项 目	COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> - N	TN	TP
现状水质	12 ~ 24.7	0.2 ~ 1.1	0.02 ~ 1.45	4.3 ~ 11.8	0.22 ~ 1.25
模拟设计水质	16.2 ~ 25.3	0.18 ~ 2.6	0.12 ~ 1.08	4.6 ~ 10.8	0.40 ~ 1.42
水量超负荷(140%)	10.7 ~ 25.8	0.34 ~ 3.1	0.13 ~ 1.21	3.6 ~ 11.7	0.38 ~ 1.29

结果显示:COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub> - N、TN 均达到设计标准,其中 TN 趋于临界状态,TP 超标。按照总体设计思路,TN、TP、SS 可通过后续深度处理单元进一步去除。

② 反硝化深床滤池和接触消毒池土建施工、设备安装、单元调试。

③ 一期 SBR 池土建改造、设备安装、微生物培养驯化、运行调试。

④ 二期 SBR 池土建改造、设备安装、微生物培养驯化、运行调试。

⑤ 厂区工艺管线改造、整体调试运行。

## 5 实际运行效果

本项目于 2017 年 11 月改造完成,工程直接费

约 2 178 万元,新增运行费用 0.24 元/m<sup>3</sup>。通过 1 个多月的调试运行,出水水质基本稳定,主要指标均满足设计标准。

2018 年 1 月—12 月平均进、出水水质指标如表

5 所示。

表 5 2018 年月平均进、出水水质

Tab.5 Monthly average influent and effluent quality in 2018

mg · L<sup>-1</sup>

时间	COD		BOD <sub>5</sub>		NH <sub>3</sub> - N		TN		TP		SS	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
1 月	205	14.3	125	2.3	16.6	0.81	21.1	8.5	1.90	0.17	105	2.9
2 月	164	11.2	50.7	1.2	16.1	0.47	18.1	11.1	1.90	0.26	85.2	2.6
3 月	159	13.5	86.9	1.6	11.2	0.15	14.5	8.7	1.70	0.22	101	2.3
4 月	202	16.1	130	1.8	12.7	0.26	16.5	8.9	1.80	0.21	122	3.2
5 月	222	15.7	71.8	0.44	12.8	0.22	17.2	6.27	1.86	0.10	138	3.0
6 月	216	15.7	87.6	0.36	10.2	1.08	14.4	4.73	1.30	0.09	110	2.83
7 月	254	23.7	123	0.66	21.7	1.15	25.6	10.1	1.70	0.20	146	3.4
8 月	253	24.4	134	0.67	18.8	1.25	21.8	9.1	1.51	0.22	92.5	3.1
9 月	217	19.1	53.6	1.16	17.7	0.53	19.9	8.3	1.82	0.25	80.4	3.0
10 月	293	24.6	126	0.98	21.7	1.34	23.3	6.1	1.80	0.27	91.6	1.81
11 月	264	21.7	126	0.49	19.3	0.75	24.4	7.1	2.10	0.11	90.6	3.2
12 月	217	18.9	77.9	1.17	18	0.25	21.5	6.78	1.99	0.21	75.5	3.4

## 6 结论

本项目通过对 SBR 池分区进行调整,增加缺氧区池容,提高反硝化脱氮效率,同时在好氧区投加生物填料和增加充氧量,进一步提高对有机物及氨氮的处理效率,深度处理采用反硝化深床滤池,确保 TN、TP 及 SS 的有效去除。实践证明,改造后各项出水水质指标均满足浙江省地方标准的要求,极大地改善了排放水体的环境质量。

## 参考文献:

- [1] 王翥田,叶亮,张新彦,等. MBBR 工艺用于无锡芦村污水处理厂的升级改造[J]. 中国给水排水,2010,26(2):71-73.  
WANG Zhutian, YE Liang, ZHANG Xinyan, *et al.* Application of MBBR process to upgrading and reconstruction of WWTP [J]. China Water & Wastewater,2010,26(2):71-73(in Chinese).
- [2] 胡邦,蒋岚岚,张万里,等. MBR 工艺在城市污水处理厂中的工程应用[J]. 给水排水,2009,35(11):22-24.  
HU Bang,JIANG Lanlan,ZHANG Wanli,*et al.* Practical engineering application of the MBR process in urban

wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering,2009,35(11):22-24(in Chinese).

- [3] 刘学钦,魏宏斌. BAF 在废水提标改造及深度处理中的研究与应用[J]. 中国给水排水,2014,30(4):7-10.  
LIU Xueqin,WEI Hongbin. Research and application of biological aerated filter in wastewater upgrading reconstruction and advanced treatment[J]. China Water & Wastewater,2014,30(4):7-10 (in Chinese).
- [4] 沈晓铃,李大成,蒋岚岚,等. 深床反硝化滤池在污水厂提标扩建工程中的应用[J]. 中国给水排水,2010,26(4):32-34.  
SHEN Xiaoling, LI Dacheng, JIANG Lanlan, *et al.* Application of deep-bed denitrification filter in upgrading and extention project of WWTP [J]. China Water & Wastewater,2010,26(4):32-34(in Chinese).

作者简介:王正法(1968-),男,浙江义乌人,大学本科,正高级工程师,主要从事市政给排水设计及单位技术管理工作。

E-mail:wzf8458@163.com

收稿日期:2021-01-22

修回日期:2021-03-30

(编辑:孔红春)