

# 应用生化动力学模型修复污水处理工艺缺陷

宋和平

嘉兴罗斯姆水务科技有限公司

**摘要** 活性污泥数学模型(ASM)是一个十分有用的污水处理厂运行管理工具,它模拟污水处理工艺,寻找工艺缺陷提出修补意见,达到优化污水处理工艺的目的。

本文以嘉兴联合污水处理厂已运行的氧化沟工艺数据,建立小型试验装置采集生化动力学参数,应用STOAT软件进行IAWQ2(活性污泥动力学模型II)建模,仿真模拟各种运行参数,寻找工艺缺陷,优化操作、提高处理效率,降低能源消耗。模型的建立可立即回答各种工艺问题。

Activated sludge model is an valuable tool for mathematical modeling for design and operation of biological wastewater treatment processes. It presents a concept for dynamic simulation of combined biological processes. It is a tool for process optimization and troubleshooting at full-scale treatment plants and design assistance.

This paper showed the modeling of International Association on Water Quality (IAWQ2) under the STOAT for CEPT+Oxidation ditch treatment process in Jinxing union wastewater treatment plant and with the model, various process parameters were updated in order to enhance the removal rates, reduce the energy consumption and optimize the operational processes. The built model may answer different process problems.

**关键词:** 污水处理 数学模型 IAWQ2

**Keywords:** wastewater treatment mathematical model IAWQ2 application of soft ware

## 0. 前言

要提升一个污水处理厂管理水平,优化操作工艺,达到除碳,脱氮磷的目标,单凭经验已面临挑战。随着计算机技术的发展,应用数学模型管理污水处理工艺已成为现实,世界上优秀的污水处理专家开发了许多污水处理工艺数学模型,其国际水质协会(IAWQ)研究的活性污泥IAWQ(ASM)数学模型最为广泛应用。污水处理的相关数学模型已被英国水研究中心编制成计算机软件(STOAT)。STOAT是设计及运行的工艺建模软件。可以模拟几十种污水处理工艺过程,设计及管理污水处理厂。软件具有活性污泥模型,生物膜模型,污泥处理模型,工艺控制模型等。

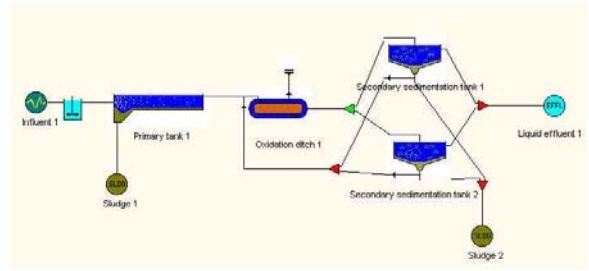
本文应用STOAT计算机软件,选用IAWQ<sub>2</sub>生化动力学模型为嘉兴联合污水处理厂建立氧化沟工艺数学模型,修补工艺缺陷,提高出水水质。IAWQ<sub>2</sub>是STOAT软件中许多数学模型中的一个,根据嘉兴污水处理厂的实际情况,我们提出了化学强化一级(CEPT)+氧化沟进行工艺优化方案,并为该工艺建立生化动力学数学模型和小型试验装置,进行了IAWQ<sub>2</sub>生化动力学和化学计量参数的校正,经校正的IAWQ<sub>2</sub>模型能良好完成各项工艺运算,能预测水量、水质变化下的操作工艺;优化操作工艺,提高处理能力;分析工艺缺陷,降低运行成本,达到提高出水水质指导生产实践的目的。

## 1. 小型试验



图 1 小型试验设备

Fig.1 picture of the wastewater pilot plant



2 工艺流程

Fig.2 Sketch map of CEPT+Oxidation ditch

1.1 试验工艺数据

试验地点：嘉兴联合污水处理厂

试验时间：2005.6.2-7.30

处理能力：15t/d

试验工艺：CEPT+好氧。

进水来源：嘉兴联合污水处理厂进水水质

装置负荷：好氧段水力停留时间 4.5hr

污泥负荷 0.26-0.37kgBOD5/kgMLSS.d

数据采集为 2005.7.11-30 连续 20 天的试验成果，进出水用 ISCO6712 自动采样仪每 15 分钟采集一次样品，每天 96 个样混合后分析。COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS、Tp、NH<sub>3</sub>-N 平均进出水水质见表 1。

表 1 平均出水水质及处理效果

Tab.1 Influent quality and effluence quality

项目	COD <sub>Cr</sub> mg/l	BOD <sub>5</sub> mg/l	SS mg/l	Tp mg/l	NH <sub>3</sub> -Nmg/l
平均进水水质	701	264	341	4.49	23.9
平均出水水质	132	10.3	32	2.07	12.8
去除率%	81	96	90.5	53.9	46.4

进厂水质经过 CEPT 预处理，COD<sub>Cr</sub> 去除 24.4%，为好氧生化处理提供了良好的条件。

表 2 为 CEPT 处理效果。CEPT+氧化沟工艺 COD<sub>Cr</sub> 去除率 81%，总处理效果见表 1，图 3、4、5。

表 2 CEPT 进出水质

Tab.2 CEPT of Influent quality and effluence quality

项目	进水水质	CEPT 出水水质	去除率%
COD <sub>Cr</sub> mg/l	701.4	530.5	24.4

2. 模拟结果与讨论

经修正的生化动力学参数和化学计量参数的CEPT+IAWQ<sub>2</sub>模型对嘉兴联合污水厂已建装置进行优化工艺操作模拟。其验证后的CEPT+IAWQ<sub>2</sub>模型是优化工艺、预测处理效果的重要工具，可以回答了不同工艺操作条件下对出水水质的影响，污泥的增减量，最低供氧量，营养盐平衡问题及氨氮硝化进程等大量工艺问题。模拟基本参数见表3、4。模拟结果见图3、4、5。

模拟应用污水厂实际的污水处理构筑物尺寸与实际进水水质和水力平均停留时间。模拟氧化沟的溶解氧DO与实际池子内的溶解氧一致，控制最大耗氧速率 $K_{La} = 5$ ，符合实际的最大供氧能力。

表3 污水处理厂主要构筑物

Tab.3 WWPT Main Pools

构筑物 参数	初沉池 m <sup>3</sup>	氧化沟 m <sup>3</sup>	二沉池 m <sup>3</sup>
构筑物尺寸	6976	14448	2*6873

表4 模拟基本参数

Tab.4 Simulate Operational Parameters

项目 参数	处理水量 (t/hr)	水温 (°C)	PH	水力停留时间 (hr)
进水水量水质	3125	31-36	6.8-8.5	好氧 4.5hr

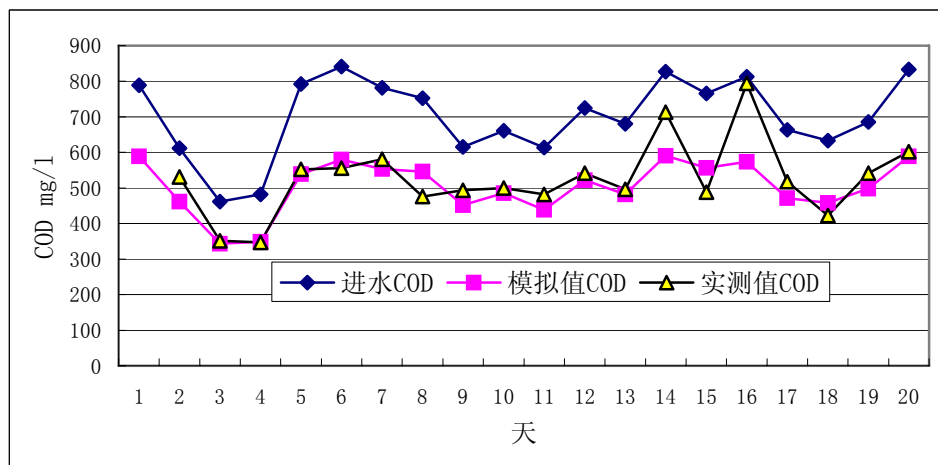


图3 CEPT 工艺 COD<sub>cr</sub> 实测与模拟值

Fig.2 CEPT COD<sub>cr</sub> Measured and Simulated Results

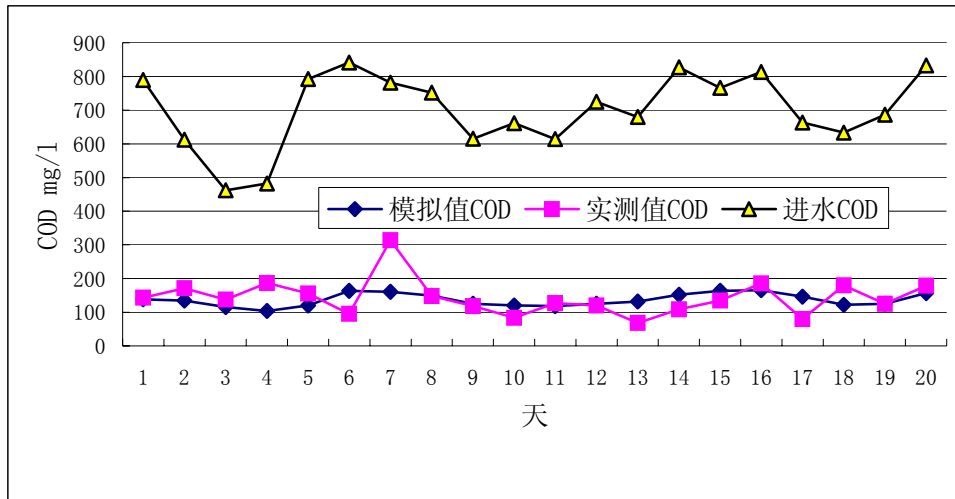


图4 CEPT+氧化沟工艺 COD<sub>Cr</sub> 实测与模拟值

Fig.4 CEPT + COD<sub>Cr</sub> Measured and simulated results

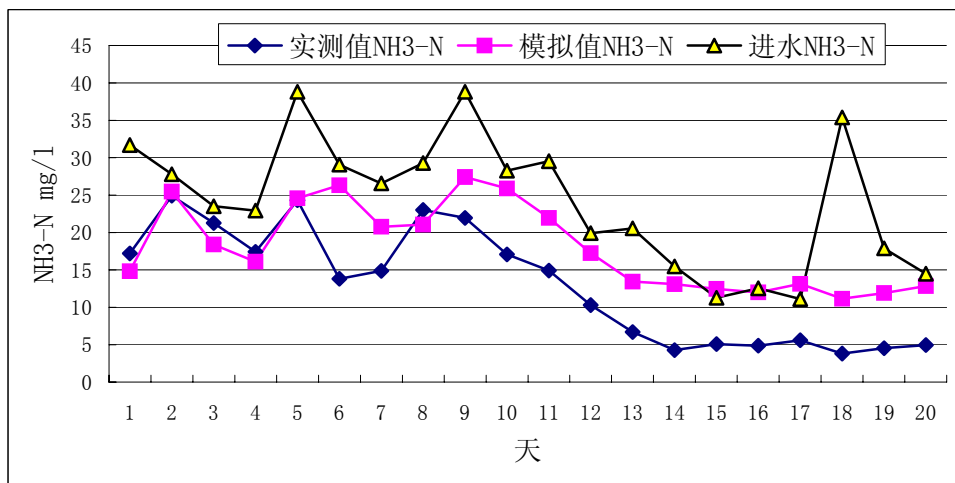


图5 NH<sub>3</sub>-N 实测与模拟值

Fig.5 NH<sub>3</sub>-N Measured and Simulated results

### 3. 工艺优化

嘉兴市联合污水处理厂处理能力 30 万吨/日，采用初沉+氧化沟工艺。

由于设计水质负荷与实际水质负荷上的差异使污水处理工艺不能达到正常运行状态，排放水质不能达到标准。这对污水处理厂的管理是一个挑战。迎接这个挑战不仅需要现实的工作经验，还需要新技术的支持。这个新技术就是世界水质协会（IAWQ）发展的活性污泥法模型（Activated Sludge Models）。活性污泥数学模型是揭示微生物生长内在规律，分析工艺缺陷，验证运行结果，优化工艺和解决污水处理厂实际问题的新技术。

经模拟-试验-模拟，分析了该工艺的实际情况，提出了 CEPT+氧化沟处理的改进方案，并运用校正后的模型进行工艺参数的优化，回答了处理效果、营养平衡、污泥产生量、氧增加量、药剂用量、增加处理费用、工艺控制条件、新增设备量、总的改造资金等问题。

#### 3.1 磷含量对污水处理的影响

在污水处理中磷对微生物生长起着重要，有效磷含量少了影响处理效果，多了需要脱磷。嘉兴联合污水处理厂以工业污水为主，有效磷偏少，影响污泥产率和处理效果。问题的发现有助于工艺的改进。

本节模拟进水水质见图 3、4，表 1。表 1 表明，进水水质 $Tp_{3.2-5.8}$ ，污泥产率系数 $Y_{H,a}$ 控制在  $0.35\text{CODcr g/CODcr g}$ ，这样的污泥产率只有正常值的 55%。污泥产率系数下降主要原因是缺少有效磷源，使得微生物生长速率慢，代谢速度缓慢。污泥产量少，就不敢排泥，污泥在长泥龄时不断自身氧化，分解的磷源供新生代微生物所用，导致泥龄长达 52 天。污泥老化，菌胶团松散，出水SS增加。模拟当加入 $P_{O4}^{3-}$   $3\text{mg/l}$ ，污泥产率提高到  $0.6\text{CODcr g/CODcr g/l}$ ，污泥排放量增加，污泥龄达到正常值，CODcr去除率提高 18.4%，出水水质可以保持在排放标准内。模拟结果见图 6。

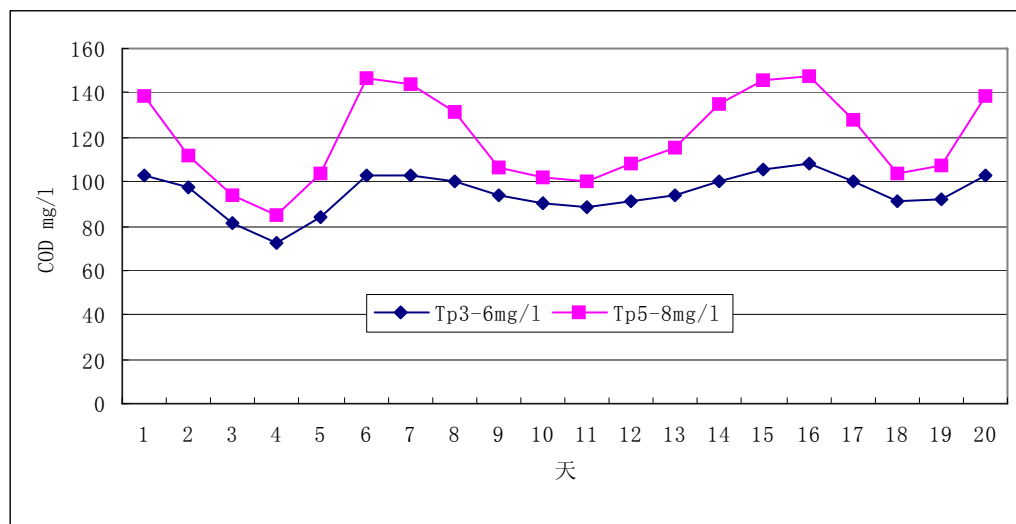


图 6 磷  $Tp_{3-6\text{mg/l}}$ ,  $5-8\text{mg/l}$  模拟处理出水的影响

Fig.6 The impact on effluent quality under simulate  $Tp$  concentration  $3-6\text{mg/L}$  and  $5-8\text{mg/L}$

### 3.2 最低氧消耗量

IAWQ2 模型将氧化沟分成 9 段，每段最大耗氧速率设定 $K_{La} = 5$ ，第一段到第

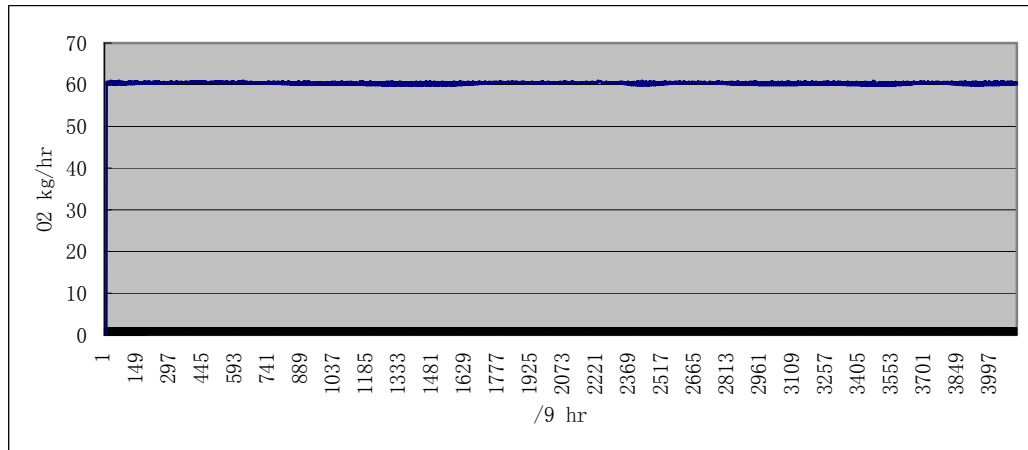


图7 最小需氧量 Fig.7 minimum quantity of oxygen consumption

九段最小耗氧量见图7。模拟表明最小耗氧量 544kg/hr。如果氧化沟上每片转碟充氧量 1kgO<sub>2</sub>/hr, 18组转碟充氧能力达到 558kgO<sub>2</sub>/hr, 当然这样的运行将是不安全。计算表明安全的设备供氧量在 750kg/hr, 需要每条线增加一台罗茨风机, 备用一台, 以保证耗氧量的需求。增加罗茨风机为 51.5m<sup>3</sup>/min, 每小时可供氧量约 O<sub>2</sub>=143kg/hr。

### 3.3 污泥产生量

模拟的 CEPT 和氧化沟污泥生产量见表 5。

表5 CEPT、氧化沟污泥生产量

Tab.5 Sludge Quantity of CEPT and Oxidation ditch

污泥 含水率	CEPT 污泥(t)		活性污泥(t)		合计 (日排污泥量)
	日排泥量	小时排泥量	日排泥量	小时排泥量	
干污泥	12.9	0.54	12.1	0.504	25
含水率 (80%)	64.5	2.7	60.48	2.52	124.98

## 4. IAWQ<sub>2</sub>动力学参数

主要修正的IAWQ<sub>2</sub>动力学参数和化学计量参数见表 6。

表6 主要修正的动力学参数

Tab.6 Main updated dynamic parameters

参数	典型值 20 °C	修正值
异养菌最大生长速率- $\mu_{H,max}$ (day-1)	6	7
自养菌最大生长速率- $\mu_{A,max}$ (day-1)	1	0.8
异养菌半饱和系数 K <sub>s</sub> (g/COD m-3)	20	40
自养菌氨半饱和系数K <sub>NH</sub> (g/Nm-3)	1.0	0.75
自养菌氧半饱和系数K <sub>O,H</sub> (gO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> /m-3)	0.2	0.18
异养菌氧半饱和系数K <sub>O,A</sub> (gO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> /m-3)	1.0	1.0
异养菌死亡系数b <sub>H,a</sub> (day <sup>-1</sup> )	0.62	0.264-0.19

自养菌死亡系数 $b_{A,n}$ ( $\text{day}^{-1}$ )	0.01	0.05-0.15
异养菌产率系数 $Y_{H,a}$ (g COD/g COD)	0.63	0.35-0.6
自养菌产率系数 $Y_{H,a}$ (g COD/g COD)	0.24	0.2
不沉淀颗粒	0.001	0.02

## 5. 结论

1、修正动力学参数的IAWQ<sub>2</sub>模型的模拟结果与嘉兴联合污水处理厂实际运行数据吻合，验证了模型的实用性能。验证建立的CEPT+IAWQ<sub>2</sub>模型是优化污水处理工艺的重要工具。

2、增加的CEPT工艺起到削减冲击负荷进入生化池的作用，控制生化池运行负荷。本模拟加三价铁17mg/l，COD<sub>Cr</sub>去除率达到24%与小型试验结果一致。

3、为了保证处理水量，需要在高污泥负荷的工况下运行，COD<sub>Cr</sub>负荷1.2kgCOD<sub>Cr</sub>/kgMLSS.d。污泥负荷的控制是污水处理工程的设计和运行中重要的参数。将影响供氧量，出水水质及生物生长速率等。

4、足够的有效磷对处理出水有重要影响，模拟当加入 $\text{PO}_4^{3-}$  3mg/l，污泥产率提高到0.6COD<sub>Cr</sub> g/COD<sub>Cr</sub> g/l，污泥排放量增加，污泥龄达到正常值，COD<sub>Cr</sub>去除率提高18.4%，出水水质可以保持在排放标准内。

5、供氧量与水质中有机物浓度及氨氮硝化程度有关，当好氧池供氧不足时出水水质就会变差，硝化程度大为降低。污水处理厂需要配有足够的风机对付缺氧的时段。

## 参考文献

- 1 Henze and Gujer . Activated Sludge Model No2 ,IAWQ Scientific and Technical Reports No3,IAWQ,ISSN 1025-0913,London,1995.
- 2 Drolka and Plazl The results of Mathematical Model and pilot plant research of Wastewater Treatment. Model and Wastewater Treatment, Chem. Biochem. Eng. Q.15(2) 71-74(2001)
- 3 Gujer and Larsen. The Implementation of Biokinetics and Conservation Principles in ASIM. Wat. Sci. Tech. Vol.31.No.2 pp.257-266.1995

### 作者简介：

宋和平，男，1952年7月出生，1976年毕业于浙江大学化学工程专业，工程师。从事环境保护管理及研究工作，现任嘉兴罗斯姆水务科技公司经理。

联系地址：嘉兴罗斯姆水务科技有限公司

浙江 嘉兴城南路1369号 一号楼609室

宋和平