

溶解氧对低负荷 CAST 工艺除磷效果的影响

赵梅梅¹ 汪慧贞¹ 李彩斌² 张翼飞²

(1 北京建筑工程学院城市建设工程系, 北京 100044; 2 北京金源环境保护设备有限公司, 北京 100101)

摘要 结合北京市某污水处理厂 CAST 工艺的运行情况, 考察了 DO 对除磷及污泥性质的影响。研究表明选择区的厌氧状态很重要。处理低浓度污水时, 主区 DO 对污泥的活性和污泥含磷量有影响, 较低的 DO 有利于提高污泥的活性和含磷量, 从而提高除磷率。

关键词 CAST 工艺 DO SOUR PHB 污泥含磷量

DO effect on P removal in low COD loading CAST process

Zhao Mei-mei¹, Wang Hui-zhen¹, Li Cai-bin², Zhang Yi-fei²

(1. Department of Urban Construction and Engineering, Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China;

2. Jinyuan Environmental Protection Co., Beijing 100101, China)

Abstract: The dissolved oxygen's effects on phosphorus removal and sludge properties in CAST (Cyclic Activated Sludge Technology) process were investigated at a wastewater treatment plant in Beijing. The results showed that it is very important that select structure of the process maintained anaerobic. In case when low concentrated wastewater was treated, the activity and P content of sludge were depended on the DO level at the main structure of the process, lower the DO level, higher the activity and P content of the sludge. By this way P removal could be improved.

Keywords: CAST process; DO; SOUR; PHB; P content in sludge

0 引言

CAST 工艺是 SBR 法的一种变形, 按照进水/曝气、沉淀、滗水、闲置顺序循环运行, 一般在曝气阶段同时进水, 周期排水量仅为池内总水量的 1/3。该工艺设有高负荷的生物选择区, 因此能防止丝状污泥膨胀。CAST 工艺运行灵活, 可通过合理控制曝气量和泥龄达到脱氮除磷的要求, 也可通过调节各阶段的时间及曝气量等以适应水量水质的变化。

CAST 工艺在国内还处于发展阶段, 工程设计时大多依靠经验数据, 运行时工艺的控制方式大多采用时间控制, 在线仪表只起了监测作用, 不能体现出在线控制的特点。因而难以适应水量水质及环境条件的变化, 处理效果往往不够理想。

笔者对采用 CAST 工艺的北京市某污水处理厂的运行情况进行了研究, 该工艺由在线溶解氧仪监测混合液中的 DO, 根据 DO 的变化来控制风机的运

行。鉴于 DO 的大小不仅影响微生物的活性及工艺的脱氮除磷率,还直接影响污水处理厂的运行费用,因此考察了 DO 对除磷及污泥性质的影响。CAST 工艺的基本构造见图 1。

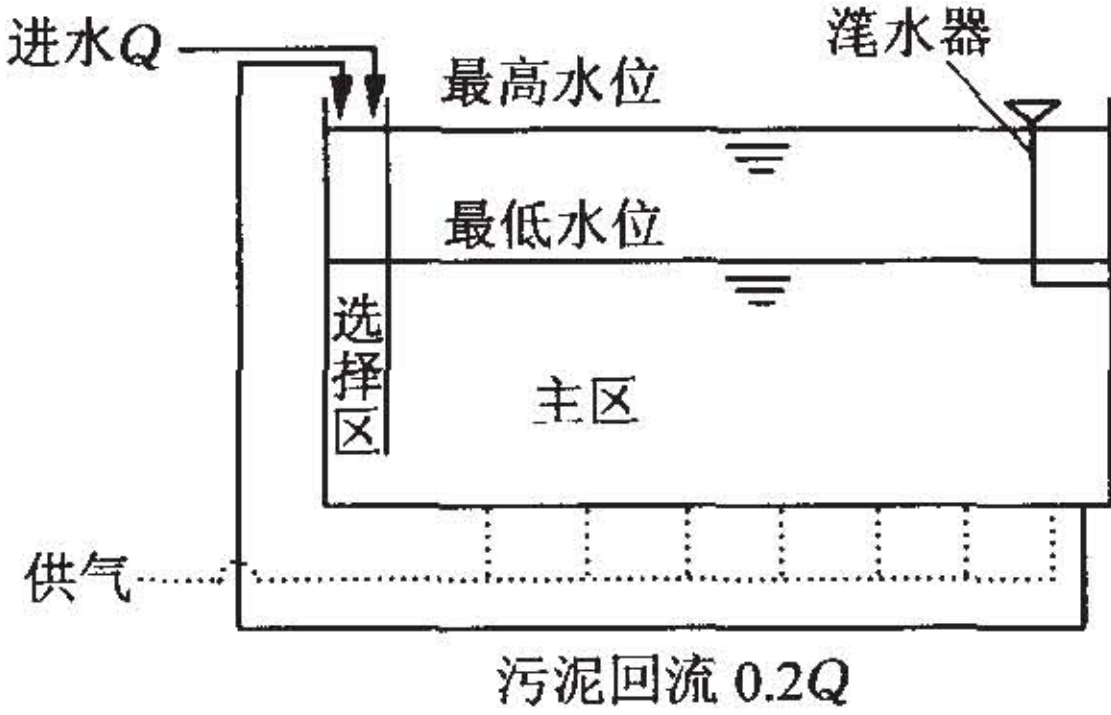


图 1 CAST 工艺的基本构造

1 污水处理厂工艺简介

该厂设计进水量为 20 万 m³/d。工艺流程由预处理段、生物处理段和污泥处理段组成,全部实现自动控制。污水处理工艺流程见图 2。

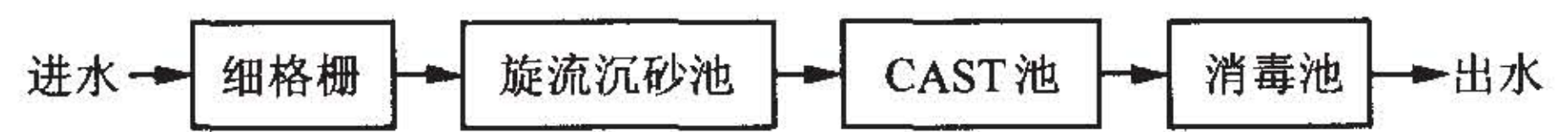


图 2 污水处理工艺流程示意

生物处理段由一组两格 CAST 池组成,两池交替运行以保证连续进水。单池由选择区和主曝气区两部分组成,有效容积为 6 875 m³,其中选择器的容积为 1 250 m³(约占 18%)。CAST 池的一个运行周期为 4 h,其中进水/曝气 2 h,沉淀 1 h,滗水 1 h。在进水阶段由主区向选择区回流混合液,回流比 20%,在滗水阶段排出剩余污泥。

设计进出水水质及实际进出水水质见表 1,设计有机物负荷为 0.078 kgBOD₅/(kgMLSS·d)。目前实际进水量基本达到设计值,实际有机物负荷为 0.05~0.12 kgBOD₅/(kgMLSS·d),属于低负荷范围。由表 1 可看出实际进水的 TP、SS 超过设计值,COD_{Cr}、BOD₅ 及 TN 均低于设计值,平均实际进水 BOD₅ 为 200 mg/L,是设计值的 2/3。出水中 COD_{Cr}、BOD₅、SS、NH₃-N 均可达标,但 TP 达不到设计出水要求。

2 运行工况调查与分析

2.1 选择区

污水在选择区内上下翻腾前进,经过 12 小格进入主区(见图 3)。

由主区向选择区回流的混合液中含有一定量的

表 1 进出水水质指标

指标		COD _{Cr} /mg/L	BOD ₅ /mg/L	SS /mg/L	TN /mg/L	TP /mg/L
设计值	进水	500	300	300	60	5
	出水	≤100	≤30	≤30	NH ₃ -N≤25	≤1
实际值	进水	240~680	130~260	60~500	30~46	5~12
	出水	30~98 (平均 67)	4~19 (平均 9.6)	≤20	NH ₃ -N<20	2~6

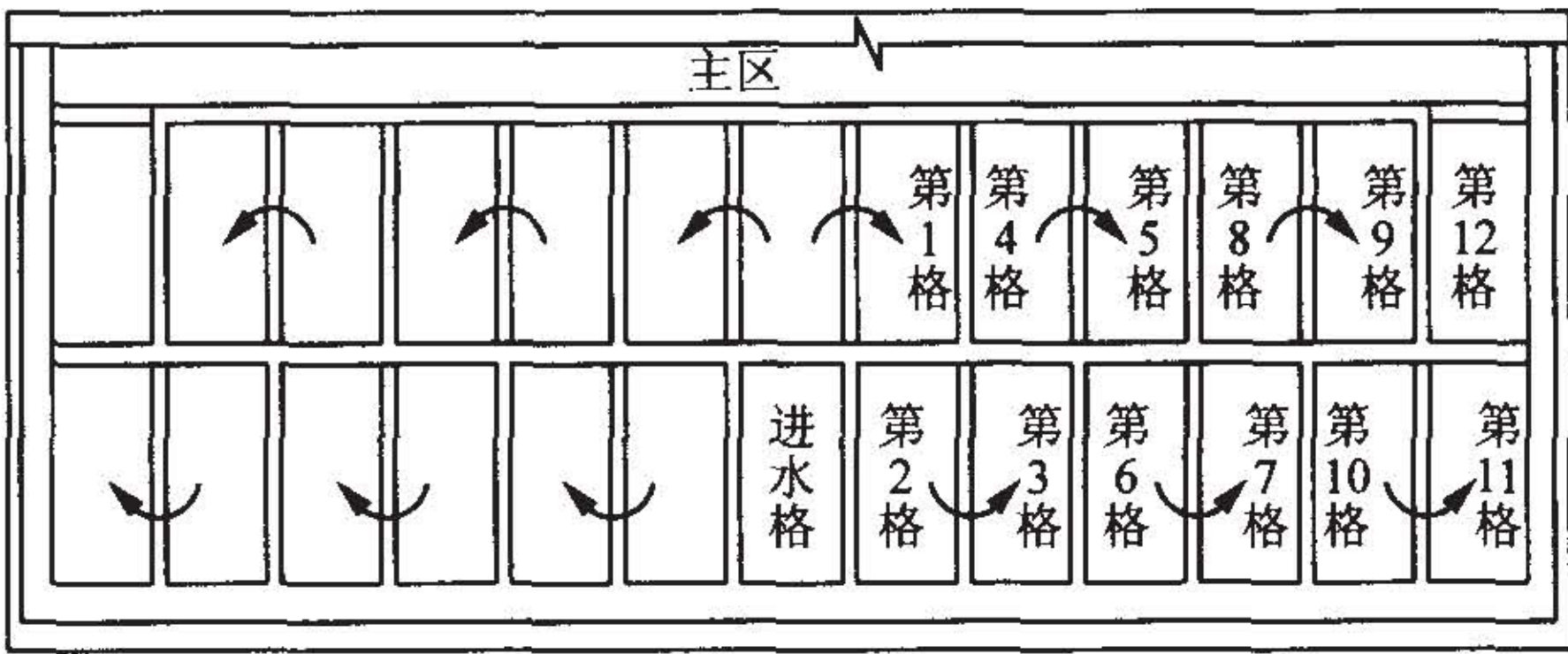


图 3 选择区平面示意

NO₃⁻-N 和 DO,但经测定选择区进水格的 NO₃⁻-N 基本小于 1 mg/L,第三格之后测得的 NO₃⁻-N 很小,近似于无 NO₃⁻-N。进水阶段选择区的部分区域内测得的 DO 达 2.5~6.3 mg/L,约有 50%的区域在大部分时间内 DO >1 mg/L,仅选择区最后一格中的 DO 可稳定在 0.3 mg/L 以下。

所测得的选择区进水格、第 3 格及第 11 格的溶解性磷浓度见表 2,自第 1 格至第 11 格之间最大放磷量仅 4 mg/L。

表 2 进水阶段选择区溶解性磷浓度

日期	采样点	磷(进水 5 min) /mg/L	磷(进水 45 min) /mg/L	磷(进水 90 min) /mg/L	磷(进水 120 min) /mg/L
0907	进水格	11.4	8.9	11.8	7.6
	第 3 格	13.2	8.3	11.2	8
	第 11 格	13.4	10.4	9.8	9.95
1016	进水格	6.5	8.4	9.8	
	第 3 格	8.8	9.9	11.5	
	第 11 格	10.4	11.3	10.5	
1023	进水格	4.81	2.83	6.2	3.82
	第 3 格	4.6	2.88	5.98	4.03
	第 11 格	5.7	4.55	3.69	4.65

2.2 主曝气区

所测定工况 1~3 为 2004 年 9~10 月间的运行情况,此时按设计设定的 DO 值运行,污泥中含磷量低,除磷率也较低。在 12 月调低 DO 值,将曝气 25 min 后的 DO 值降低约 0.5 mg/L,工况 4、5 为调整 DO

表3 调整前主区混合液的平均DO值

工况	DO ^① /mg/L	DO ^② /mg/L	DO ^③ /mg/L	备注
1	0.75	1	1	T=24℃, SRT=13 d
2	0.8	1.3	2	T=24℃, SRT=13 d
3	0.9	1.4	1.8	T=20℃, SRT=13 d

注:①曝气0~25 min;②曝气25~82 min;③曝气82~126 min。

表4 调整后主区混合液的平均DO值

工况	DO ^① /mg/L	DO ^② /mg/L	备注
4	0.95	1.2	T=18℃, SRT=13 d
5	0.9	1.2	T=18℃, SRT=13 d

注:①曝气0~90 min;②曝气90~126 min。

表5 各工况的进出水COD_{Cr}及TP

指标 \ 工况	DO调整前			DO调整后	
	1	2	3	4	5
进水COD _{Cr} /mg/L	228	263	321	242	283
出水COD _{Cr} /mg/L	33	44	39.4	32.2	38.1
进水TP/mg/L	6.6	8.2	5.3	9.1	6.6
出水TP/mg/L	4.6	5.6	3.6	3.8	2.8

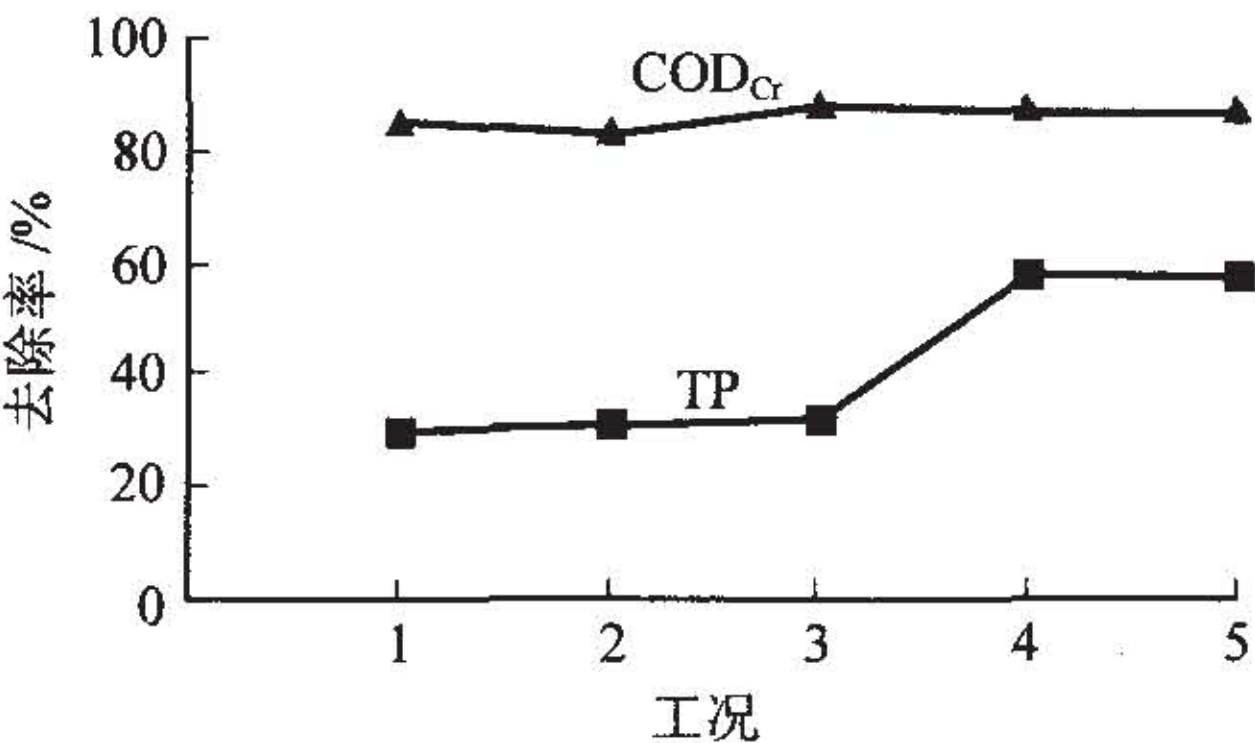


图4 各工况COD_{Cr}及TP的去除率

值后的运行情况。各工况的混合液DO值及除磷率分别见表3~表5及图4。

2.3 污泥活性

污泥的比呼吸速率(specific oxygen uptake rate, 简称为SOUR)为单位时间内单位体积混合液中微生物所消耗的DO,可以表征微生物的活性状态,即污泥的活性。

对于污泥内源阶段比呼吸速率的测定:取池中混合液曝气90 min后,测得污泥内源呼吸期的SOUR为9.8 mgO₂/(gVSS·h)。

对较高DO(DO调整前)和较低DO(DO调整后)时分别测定了污泥的SOUR值,结果见表6。

3 测试结果分析

3.1 各工况比较

由表5和图4可以看出系统的除磷效果不理想,

表6 DO调整前后的各项指标

工况	MLSS /mg/L	MLVSS /mg/L	TP /mg/L	TP/VSS	SOUR/mgO ₂ / (gVSS·h)	备注
DO调整前	6 373	4 461	120.5	<3.2%	10.5~13	SRT=13 d
DO调整后	5 047	3 543	152.4	4%~5%	约20	SRT=13 d

出水磷均超标。

在DO调整前,工况1~3的TP去除率为31%左右,污泥的含磷量小于3.2%,SOUR小于13 mgO₂/(gVSS·h),接近于内源比呼吸速率值,说明污泥中微生物的食物不足。调整DO后,系统除磷率提高到57%左右,污泥的含磷量为4%~5%,且活性提高,SOUR上升至20 mgO₂/(gVSS·h)左右。因此判断主区DO的降低对污泥的活性、含磷量及除磷率都有影响。

3.2 选择区DO对除磷的影响

选择区第3格之后几乎不含NO₃⁻-N,因此认为反硝化对选择区放磷的影响很小。主区混合液的DO在曝气阶段结束时(后30 min)才能达到最大值2 mg/L,若主区DO按2 mg/L计,则经计算20%的回流可带入选择区的DO仅为0.3 mg/L,因此由回流带入选择区的DO对放磷的影响也很小。

进水中COD_{Cr}/TP=39~66,BOD₅/COD_{Cr}约0.5,因此进水中有机物可满足除磷的要求。判断选择区放磷不足可能是影响除磷率的主要原因。

污水在提升泵的出水井处及CAST池的配水井处均形成跌水,经测定提升泵出水井处跌水前后的DO差值约为1.4 mg/L,配水井处跌水前后DO的差值大于3 mg/L,即这两处跌水将大量的DO带入水中,因此造成选择池中DO很高。

选择区较高的DO对除磷不利,因放磷需要厌氧条件。有研究表明,当电子供体(易降解有机物)与电子受体(DO)同时存在时,既无放磷也无吸磷反应^[1]。此外,DO消耗进水中的溶解性COD_{Cr}、抑制颗粒有机物的厌氧水解,这不仅减少了可供聚磷菌利用的易降解有机物量,而且好氧菌及兼性菌与聚磷菌争夺有机物,使聚磷菌缺乏足够的碳源以形成内部贮存物PHB(聚β羟基丁酸盐),难于形成优势种属。

总之,选择区中含有DO会减少污水在厌氧选择区的实际水力停留时间,不仅影响了有机物的水解发酵,也影响了聚磷菌的放磷和对有机物的摄取,

从而影响了聚磷菌的增长和系统的除磷效果。

3.3 主区曝气区混合液 DO 对除磷的影响

聚磷菌在厌氧时利用体内多聚磷酸盐(P-P)分解产能,摄取水中易降解有机物在体内形成聚合物 PHB,并释放磷;在缺氧或好氧时利用所贮存的 PHB 产生能量以形成糖元、维持生存和细胞的生长繁殖,并过量吸磷。聚磷菌体内的含磷量大大超过普通细菌体内的含磷量,正是通过排出这种富含聚磷菌的污泥以实现污水除磷,因此应在系统中培养聚磷菌,使之成为优势菌种。延长曝气时间或增大曝气量会过多消耗菌体内 PHB,从而影响吸磷量,甚至会导致吸磷停止。

由图 3 及表 6 可看出,在低有机物负荷条件下,DO 降低后污泥中的含磷量增加至 4%~5%,除磷率也提高到 57%。这是因为 DO 低时减少了污泥内源呼吸的物质消耗量,使 PHB 较多用于吸磷。相反,当 DO 较高时微生物体内的 PHB 消耗过多而影响吸磷,在体内形成的 P-P 相对较少,这也影响厌氧放磷量;加上选择区不利的放磷条件,形成恶性循环,使聚磷菌的生长受到限制,污泥中的含磷量仅 2.7%~3.2%,除磷率仅有 30%左右。因此当系统在低负荷条件下运行时,应合理控制曝气量,主区 DO 在 1 mg/L 左右较为合理,DO 较高时除磷率下降。

本试验所得的结果与一些报导相似,如有研究表明:SBR 工艺当 $F/M = 0.26 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 时,整个曝气阶段的平均 DO 维持在 0.35 mg/L,其除磷率可达 96%^[2]。又如:当 SBR 系统的 DO 在前 90 min 内为 0.2~0.5 mg/L,后 90 min 内为 0.5~2 mg/L 时,出水磷仍可达 0.5 mg/L 以下^[3]。

3.4 主区混合液 DO 对污泥活性的影响

SOUR 可以反映出污泥的活性。有研究表明:当污泥的 SOUR 接近于内源呼吸阶段的 SOUR 时,DO 对处理效果产生的影响很大^[4]。由表 6 可知当 DO 降低时,污泥的 SOUR 由 $12 \text{ mgO}_2/(\text{gVSS} \cdot \text{h})$ 左右提高至 $20 \text{ mgO}_2/(\text{gVSS} \cdot \text{h})$ 。这是由于该工艺的有机物负荷较低,微生物处于营养不足的状态,DO 越高污泥消耗自身物质(包括 PHB)越多,使污泥活性降低;而当 DO 降低时减少了对细胞内存物质和自身物质的消耗,相应提高了污泥的活性和除磷效果。

4 结语

在 CAST 工艺中,若易降解有机物与 DO 同时存在于厌氧选择区中,不仅在短期内影响放磷,还会妨碍聚磷菌成为优势种属,造成长期的影响,因此选择区的厌氧状态很重要,还需进一步研究 DO 对选择区放磷的影响。

在低有机物负荷条件下运行尤其当污泥性质接近于内源呼吸期时,主区较高的 DO 将降低污泥活性,且消耗相当一部分菌体内贮存的 PHB。为使聚磷菌的 PHB 多用于好氧吸磷,而不是被好氧消耗,应合理控制曝气量。

参考文献

- 1 Wachtmeister A, Kuba T, Van Loosdrecht M C M. A sludge characterization assay for aerobic and denitrifying phosphorus removing sludge. Wat Res, 1997, 31:471~478
- 2 陈滢,彭永臻,杨向平,等.低氧 SBR 除磷工艺研究.中国给水排水,2004,20(8):40~42
- 3 方茜,张可方,张朝升,等.SBR 法处理低碳城市污水的除磷规律.中国给水排水,2004,20(8):43~46
- 4 Gunnar Demoulin, Mervyn C Goronszy, Konrad Wutscher, et al. Co-Current nitrification/denitrification and biological P-removal in cyclic activated sludge plants by redox controlled cycle operation. Wat Sci Tech, 1997. 35(1):215~224

◎电话:(010)68322128

E-mail: zhaomei72@163.com

收稿日期:2005-01-31

温州新国光商住广场工程投入使用

新国光商住广场座落在温州市老城区信河 3 号地块,占地面积 27 246 m²,地上建筑面积为 115 656 m²,地下建筑面积 18 135 m²,是集大型车库、商场、住宅和办公等多种功能为一体的综合性大楼,由 6 座塔式住宅及 3 层裙房组成的大底盘、高转换层、不等高、多塔、连体高层建筑。

新国光商住广场南北方向长 210 m,东西方向宽 80 m,最高层楼面标高 95.9 m。

工程于 2000 年设计,2004 年底竣工。已获得 2004 年欧江杯奖(市级优质工程),并被推荐 2005 年度钱江杯奖(省级优质工程)。该工程已成为温州市区域标志性建筑。

(崔佑民)