



中国首届城市水务会议 2005

城市污水处理厂的运营优化

北京城市排水集团有限责任公司

王洪臣

2005.10

1



- 一、运营优化的概念、内容和意义
- 二、提高出水水质及其必要性
- 三、成本的控制与管理



（一）运营优化的概念、内容和意义



运营优化：采用各种技术手段和管理措施，使污水处理厂的运行效果和运营效益趋于最佳化

运营优化的内容

- 通过采取运行调控措施，或简单的技术改造，在一定的成本水平下，使出水水质趋于能达到的最佳值
- 通过采取技术和管理措施，在确保出水达标的条件下，使污水处理的运行成本降至最低，实现运营利润的最大化
- 综合权衡成本与出水水质，提出最优目标



运营优化的意义

- 全国污水处理厂通过运营优化，COD平均降低10mg/L，一年增加COD削减量10万吨
- 全国TP平均降低1.5mg/L，一年向水体少排TP1.5万吨
- 全国运行成本平均降低0.05元/立方米，一年节省成本费用5亿元



(二) 提高出水水质的措施

1 排放标准及水环境质量客观要求



城镇污水处理厂污染物排放标准GB18918-2002

单位: mg/L

基本控制项目		一级标准		二级标准	三级标准
		A 标准	B 标准		
化学需氧量 (COD)		50	60	100	120 ^①
生化需氧量 (BOD ₅)		10	20	30	60 ^①
悬浮物 (SS)		10	20	30	50
总氮 (以N计)		15	20	—	—
氨氮 (以N计) ^②		5 (8)	8 (15)	25 (30)	—
总磷 (以P计)	2005年12月31日前建设的	1	1.5	3	5
	2006年1月1日起建设的	0.5	1	3	5

注: ①下列情况下按去除率指标执行: 当进水COD 大于350mg/L 时, 去除率应大于60%; BOD 大于 160mg/L 时, 去除率应大于50%。②括号外数值为水温>12℃ 时的控制指标, 括号内数值为水温≤12℃ 时的控制指标

7



标准分级:

1. 一级标准的A标准是城镇污水处理厂出水作为回用水的基本要求。当污水处理厂出水引入稀释能力较小的河湖作为城镇景观用水和一般回用水等用途时，执行一级标准的A标准。
2. 城镇污水处理厂出水排入GB3838地表水Ⅲ类功能水域(划定的饮用水水源保护区和游泳区除外)、GB3097海水二类功能水域和湖、库等封闭或半封闭水域时，执行一级B标准。
3. 城镇污水处理厂出水排入GB3838地表水Ⅳ、Ⅴ类功能水域或GB3097海水三、四类功能海域，执行二级标准。



地表水环境质量标准GB 3838-2002

单位: mg/L

标准值 项目	I	II	III	IV	V
化学需氧量(COD)	15	15	20	30	40
五日生化需氧量(BOD ₅)	3	3	4	6	10
氨氮(NH ₃ -N)	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
总磷(以P计)	0.02 (湖、库 0.01)	0.1 (湖、库0.025)	0.2 (湖、库0.05)	0.3 (湖、库0.1)	0.4 (湖、库0.2)
总氮(湖、库, 以N计)	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0



GB18918的一级B标准与GB3838的Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类水体的比较

单位: mg/L

标准 \ 项目	五日生化需氧量 (BOD ₅)	化学需氧量 (COD)	氨氮 (NH ₃ -N)	总氮	总磷
GB18918:一级B	20	60	8	20	1.5
GB3838 :Ⅲ类	4	20	1.0	1.0	0.2
GB3838 :Ⅳ类	6	30	1.5	1.5	0.3
GB3838 :Ⅴ类	10	40	2.0	2.0	0.4



- 排放标准和水环境质量标准之间的数量逻辑关系，无论在理论上还是实践中都不符合中国大部分地区尤其是北方地区的客观情况
- 达到一级B标准的出水排入三类水体后，要保持水体质量不降低，至少需要七倍以上（氨氮八倍，总磷七倍，总氮二十倍）的三类水予以补充，实际远不可能实现！
- 当补充水源与排放量相等时，即使出水达到一级A标准，水体质量也将降低至劣五类！！
- 大部分北方城市的河湖实际上已没有补充水源！！！！
- 污水处理厂应尽最大努力提高出水水质。



2. 有机污染物相关水质指标的提高

COD BOD₅ SS

2.1 二级生化处理

- 二级标准

COD ≤ 100 mg/L

BOD₅ ≤ 30 mg/L

SS ≤ 30 mg/L

→ 达标率应为100%



- 一级标准的B标准

COD $\leq$ 60 mg/L

BOD₅ $\leq$ 20 mg/L

SS $\leq$ 20 mg/L

达标率应不低于95%

- 一级标准的A标准

COD $\leq$ 50 mg/L

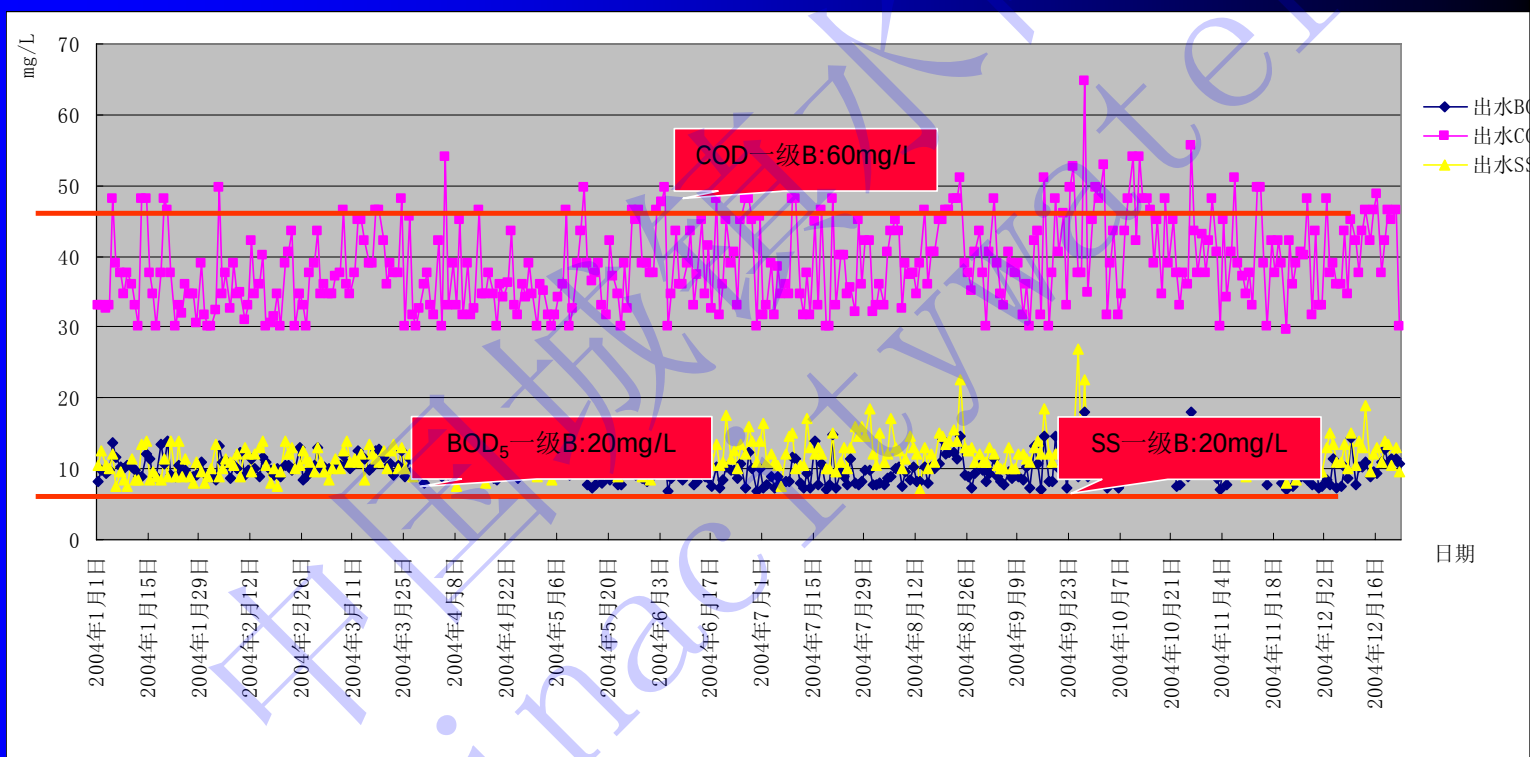
BOD₅ $\leq$ 10 mg/L

SS $\leq$ 10 mg/L

达标率约40-60%



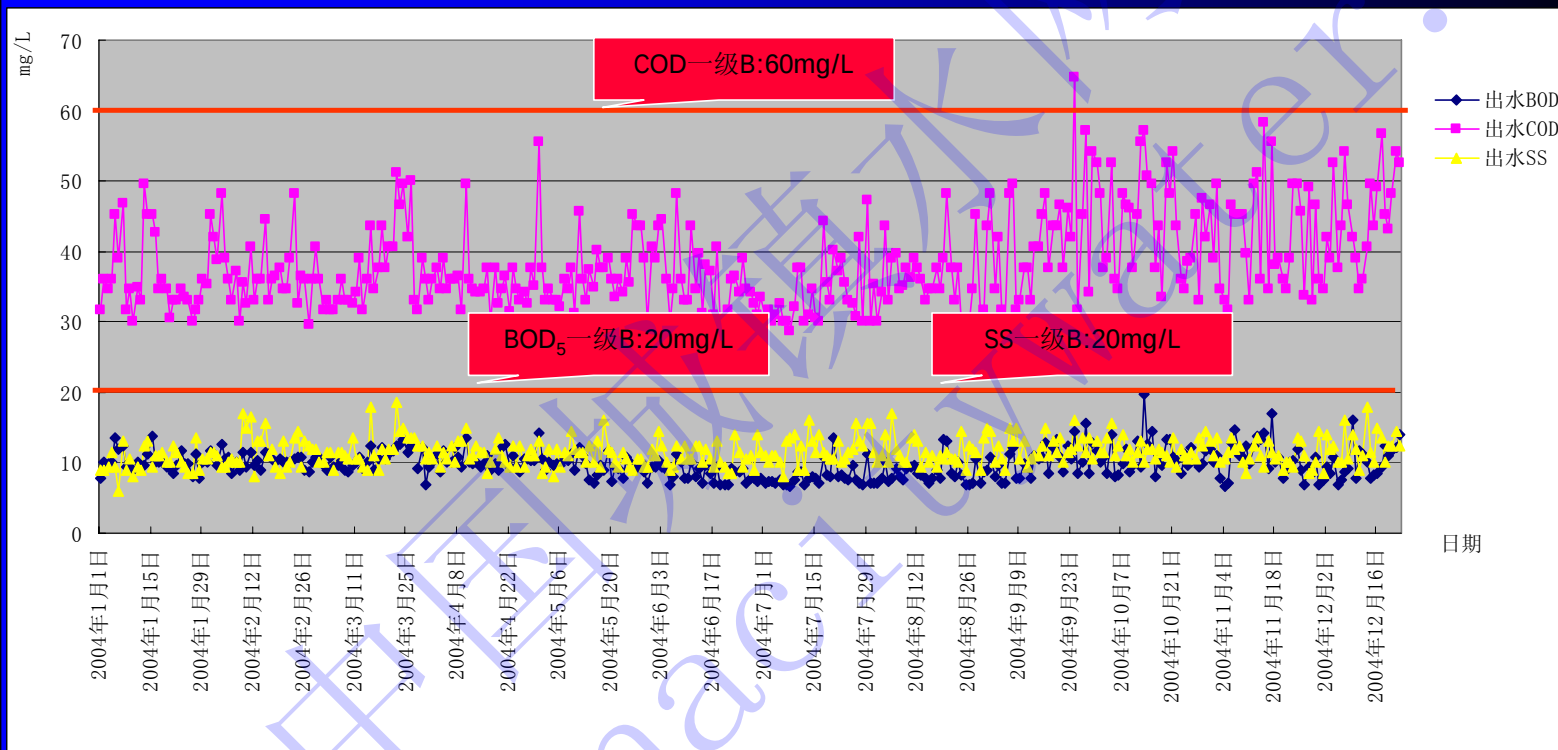
高碑店污水处理厂一期2004年1~12月出水常规三项



2004年1~12月出水BOD₅平均10.0mg/L, COD平均为38.8mg/L, SS平均为11.8mg/L。



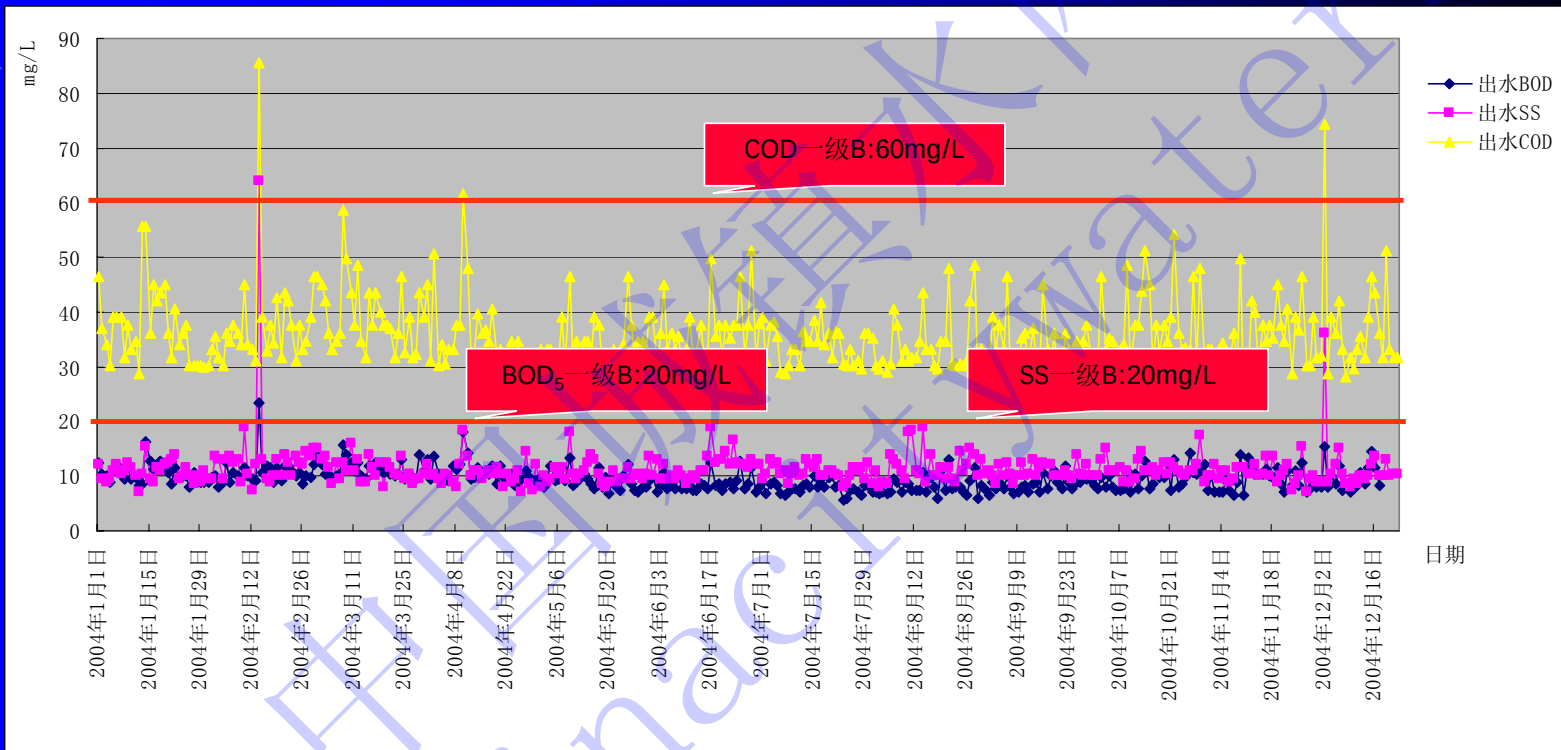
高碑店污水处理厂二期2004年1~12月出水常规三项



2004年1~12月出水BOD₅平均9.8mg/L, COD平均为38.4mg/L, SS平均为11.5mg/L。



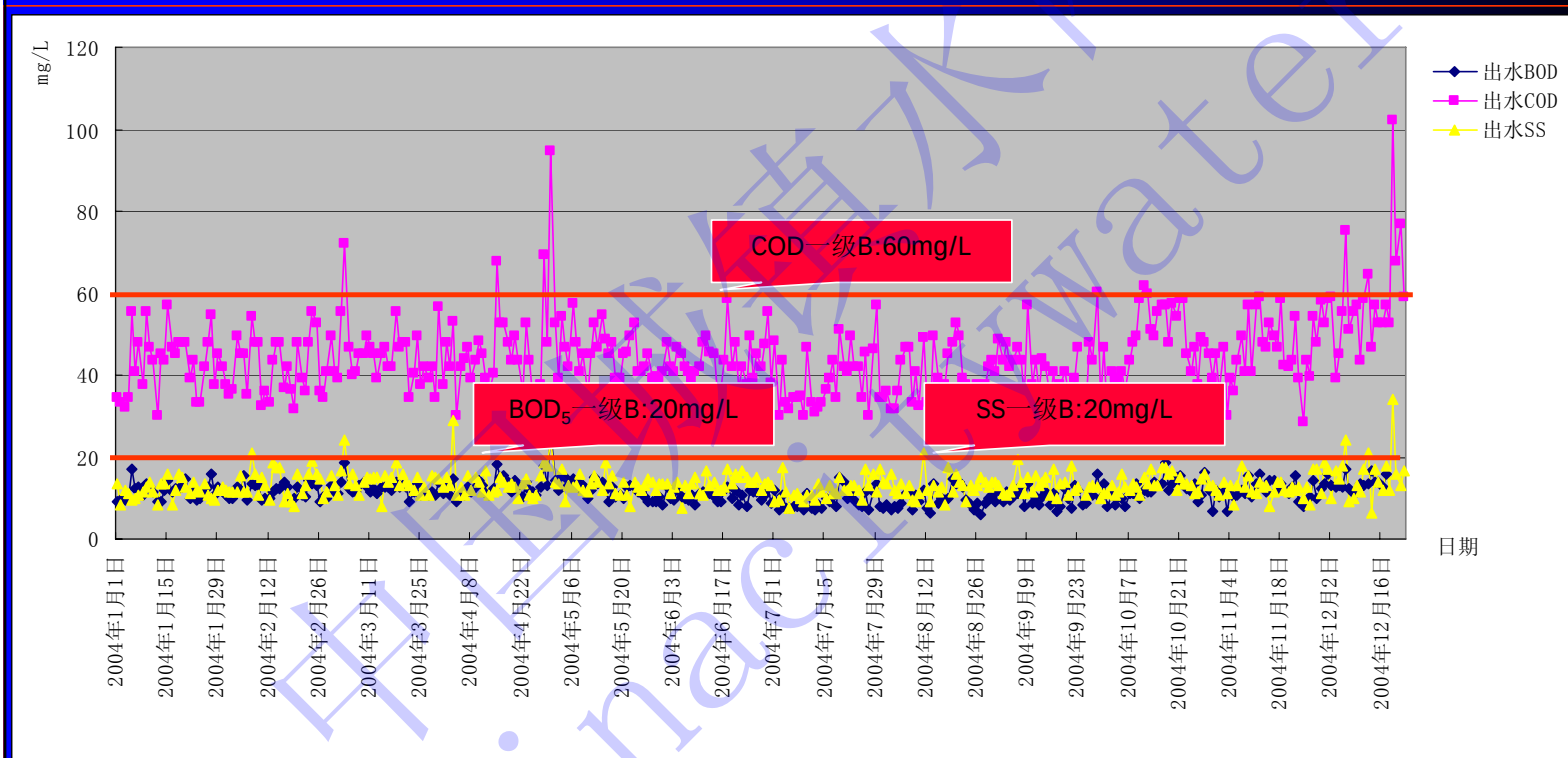
酒仙桥污水处理厂2004年1~12月出水常规三项



2004年1~12月出水BOD₅平均9.5mg/L，COD平均为36.0mg/L，SS平均为11.3mg/L。



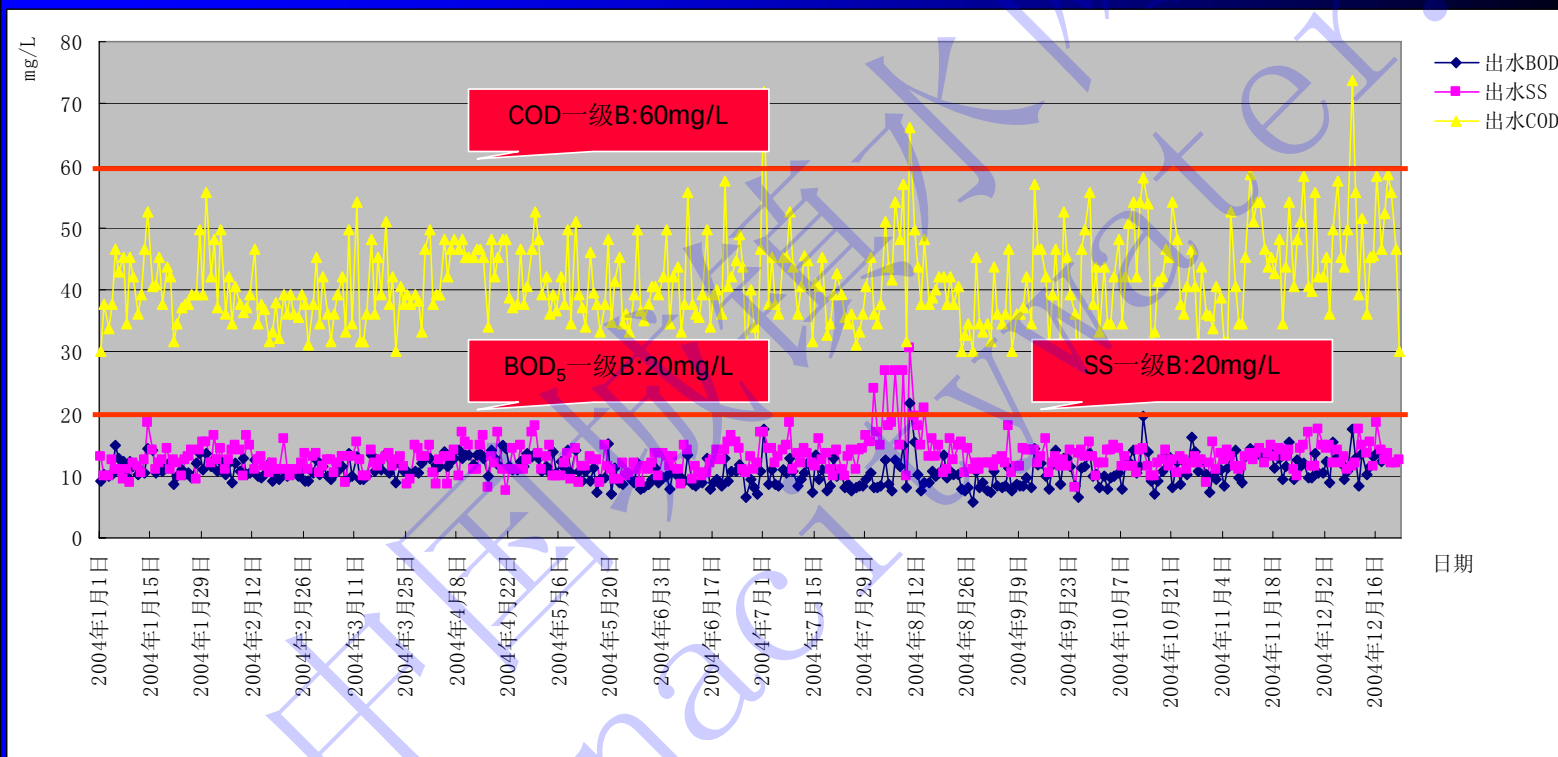
清河污水处理厂2004年1~12月出水常规三项



2004年1~12月出水BOD₅平均11.4mg/L, COD平均为44.6mg/L, SS平均为13.2mg/L。



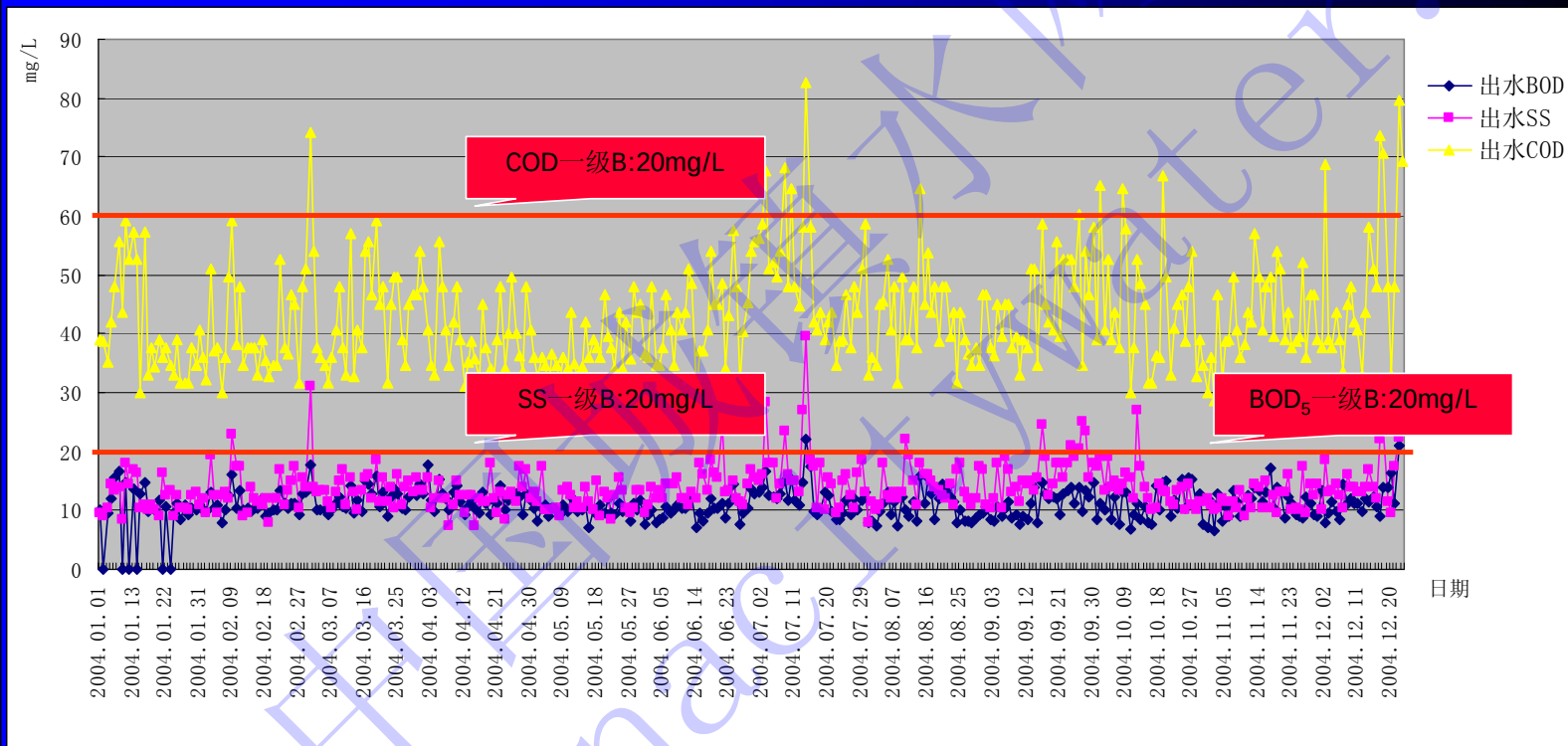
13.北小河污水处理厂2004年1~12月出水常规三项



2004年1~12月出水BOD₅平均10.9mg/L，COD平均为41.5mg/L，SS平均为12.9mg/L。



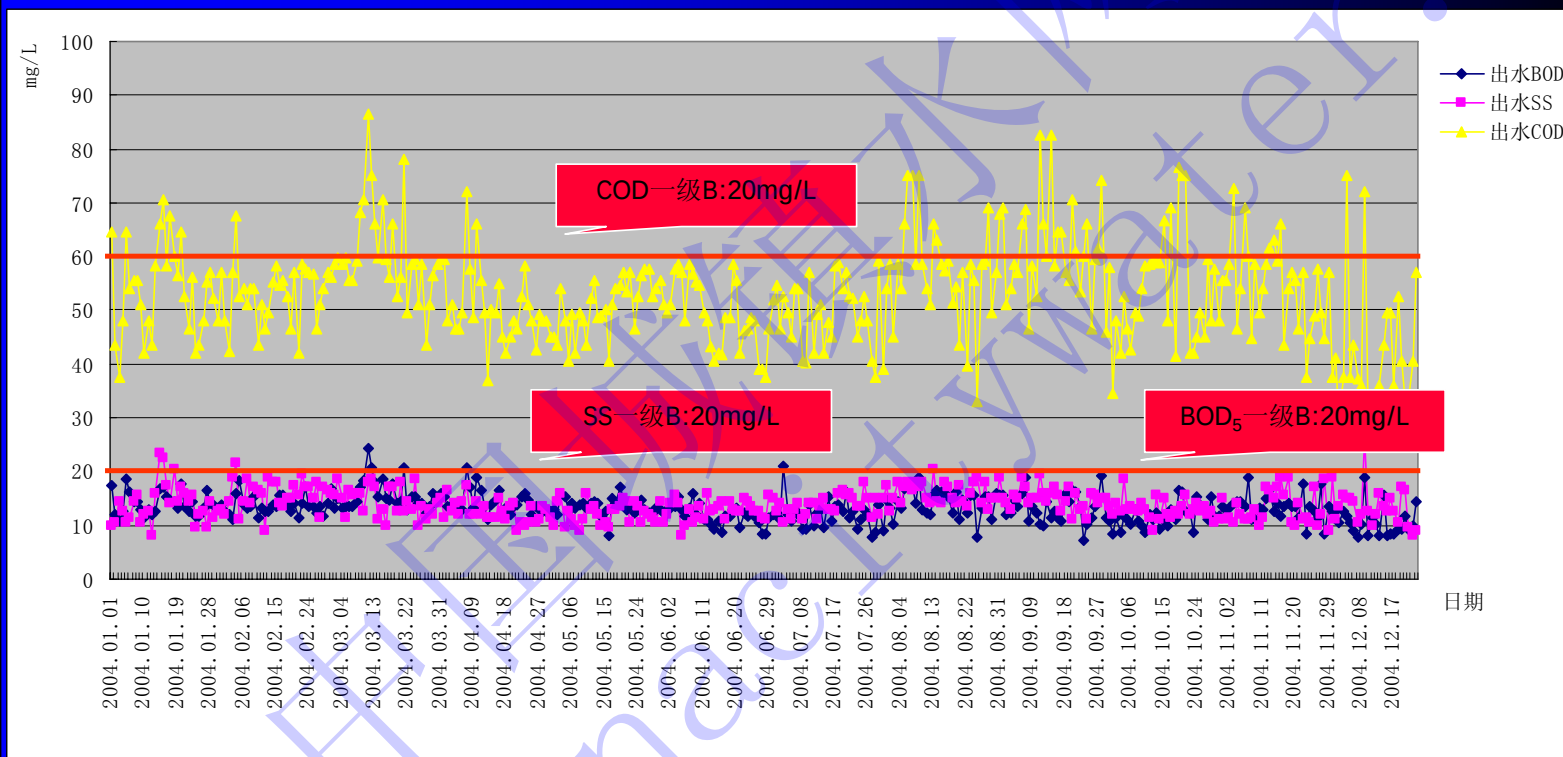
方庄污水处理厂2004年1~12月出水常规三项



2004年1~12月出水BOD₅平均11.2mg/L，COD平均为43.2mg/L，SS平均为13.8mg/L。



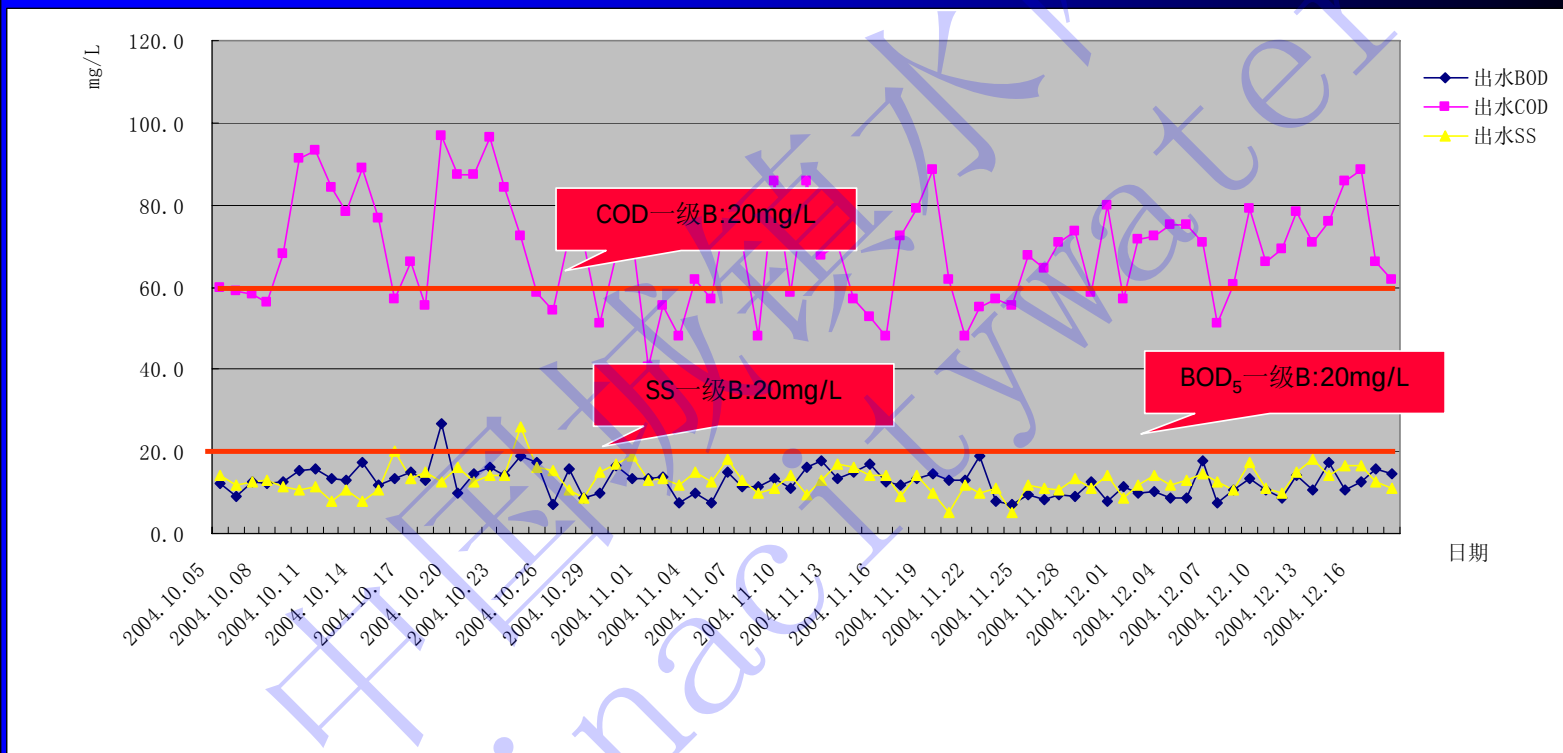
吴家村污水处理厂2004年1~12月出水常规三项



2004年1~12月出水BOD₅平均13.2mg/L，COD平均为53.2mg/L，SS平均为13.9mg/L。



卢沟桥污水处理厂2004年10~12月出水常规三项



2004年10~12月出水BOD₅平均12.5mg/L, COD平均为67.7mg/L, SS平均为12.8mg/L。



- 达不到以上水质状态的污水处理厂，一般不需要增加新处理单元，通过优化控制或局部改造后，即可达到。

降低出水BOD₅ — 提高生物活性(SOUR)
— 增加生物量 (M_T) (或系统分配)
— 曝气强度与时间





1.2 深度处理

- 传统“老三段”工艺，可达到以下水质状态：

COD = 20~30 mg/L

BOD5 = 2~6 mg/L

SS = 1~3 mg/L

浊度 = 3~5 NTU

一级标准的A标准

达标率为100%



- 如达不到以上水质状态，应分析药剂种类、加药量、搅拌强度和滤速及反冲洗周期等因素
- 如要求更高的水质目标，则应采用膜过滤工艺：

MF
(0.05~10 μm)

COD	=	30~45 mg/L
BOD ₅	<=	8~10 mg/L
SS	<=	0.5 mg/L
浊度	<=	0.2 NTU



UF
(0.005~0.1 μm)

COD = 25~40 mg/L

BOD5 = 5~10 mg/L

SS = 0.2~0.3 mg/L

浊度: 未检出



RO
(0.0005~0.005 μm)

COD < 10 mg/L

BOD₅: 未检出

SS: 未检出

浊度: 未检出



3 无机营养类污染物水质指标的提高

3.1 氨氮水质指标的提高

当碱度充足、供氧量充足时，一旦启动硝化系统，很容易达到一级A标准，即

5 (8) mg/L NH_4^+-N

泥龄和水力停留时间是控制出水 NH_4^+-N 的关键参数：

$\text{SRT} \geq 8(12)\text{d}$ (确保硝化菌的增殖)

$\text{HRT} \geq 6(8)\text{hr}$ (确保氨氮的转化)



当现有系统（较早建成）不能保证在高SRT状态下运行，例如曝气池容积过小，二沉池沉降表面积不足等原因，应考虑以下措施：

- （1）曝气池内设置生物填料
- （2）二沉出水增设生物滴滤池(TF)



3.2 总氮水质指标的提高

对于常规的城市污水，设计及运行良好的A-O脱氮系统可以达到一级A或一级B标准，即15和20mg/L，关键参数是：

足够的碳源（保证异养微生物足够的食物）；

较严格的缺氧状态（保证较高的反硝化速率）；

足够的缺氧容积（保证足够的反硝化时间）。



3.3 总磷水质指标的提高

设计运行良好的A-O生物除磷系统，可以稳定地去除4~5mg/L以上的总磷。当进水TP≤5~6mg/L时，出水总磷可以达到一级A标准。关键参数是：

足够的碳源（确保特殊异养微生物足够的特殊食物--VFA）；

较严格的厌氧状态（确保一定的释磷量，从而获得足够能量）；

足够的排泥量（确保足量的磷离开系统）；

北京清河污水处理厂2004年持续6个月TP<0.2mg/L；

北京高碑店污水处理厂2004年曾连续两个周出水TP至 未检出。

当进水TP≥6.0mg/L, 或出水要求TP<0.5时，应考虑采用化学除磷。前置？同步？后置？要防止过度除磷，磷源不足可产生污泥膨胀！

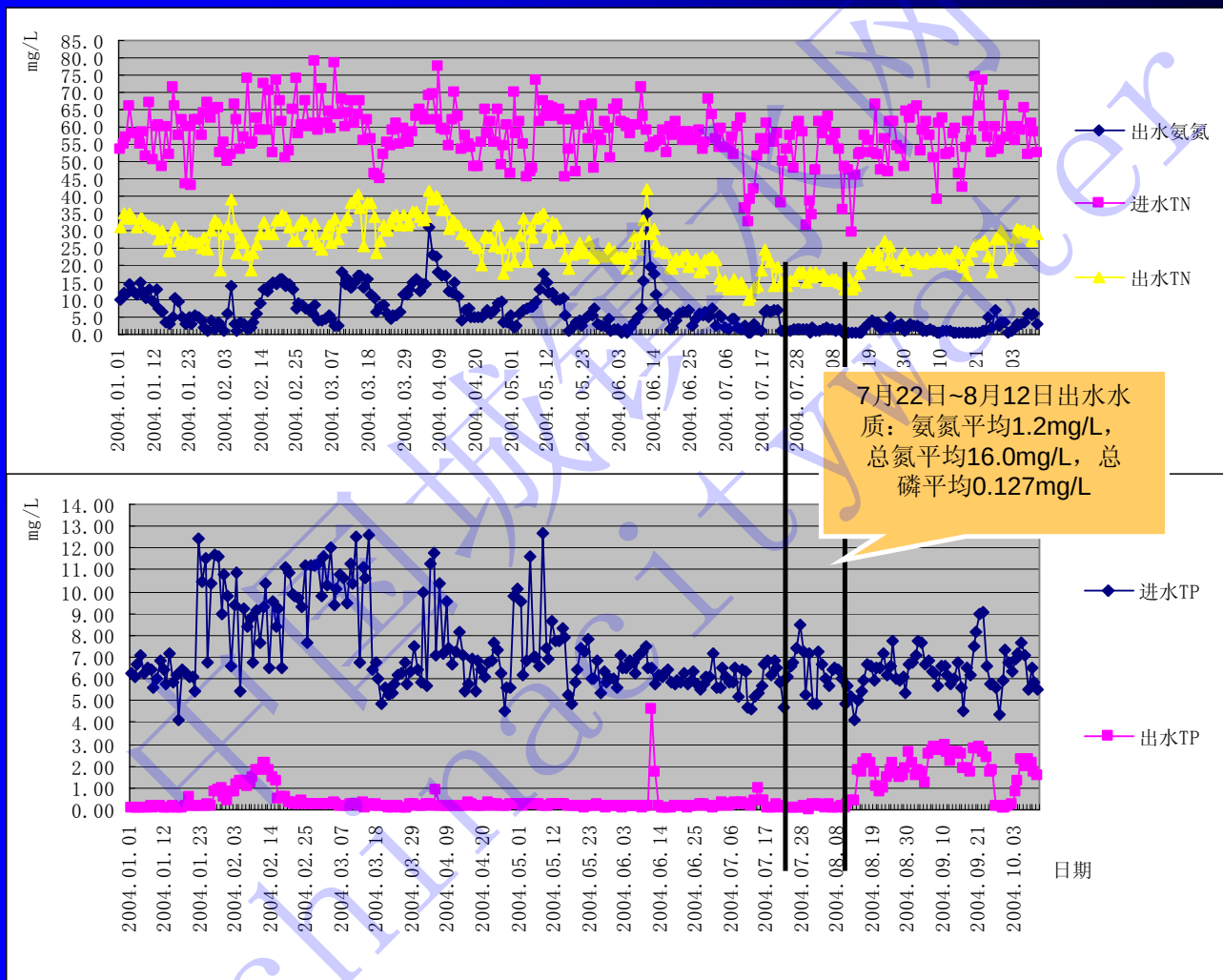


3.4 生物处理工艺氮磷指标同步提高

- 综上，在BNR系统中， NH_4^+-N 、TN和TP分别能够达到一级A标准
- 大量研究和实践表明,三项指标同步达标是可能的，但各关键参数可调整的范围非常窄，且强烈地决定于水质和气候条件
- 要使三项无机营养指标同步、持续稳定地达标，需要良好的设计和动态的运行控制

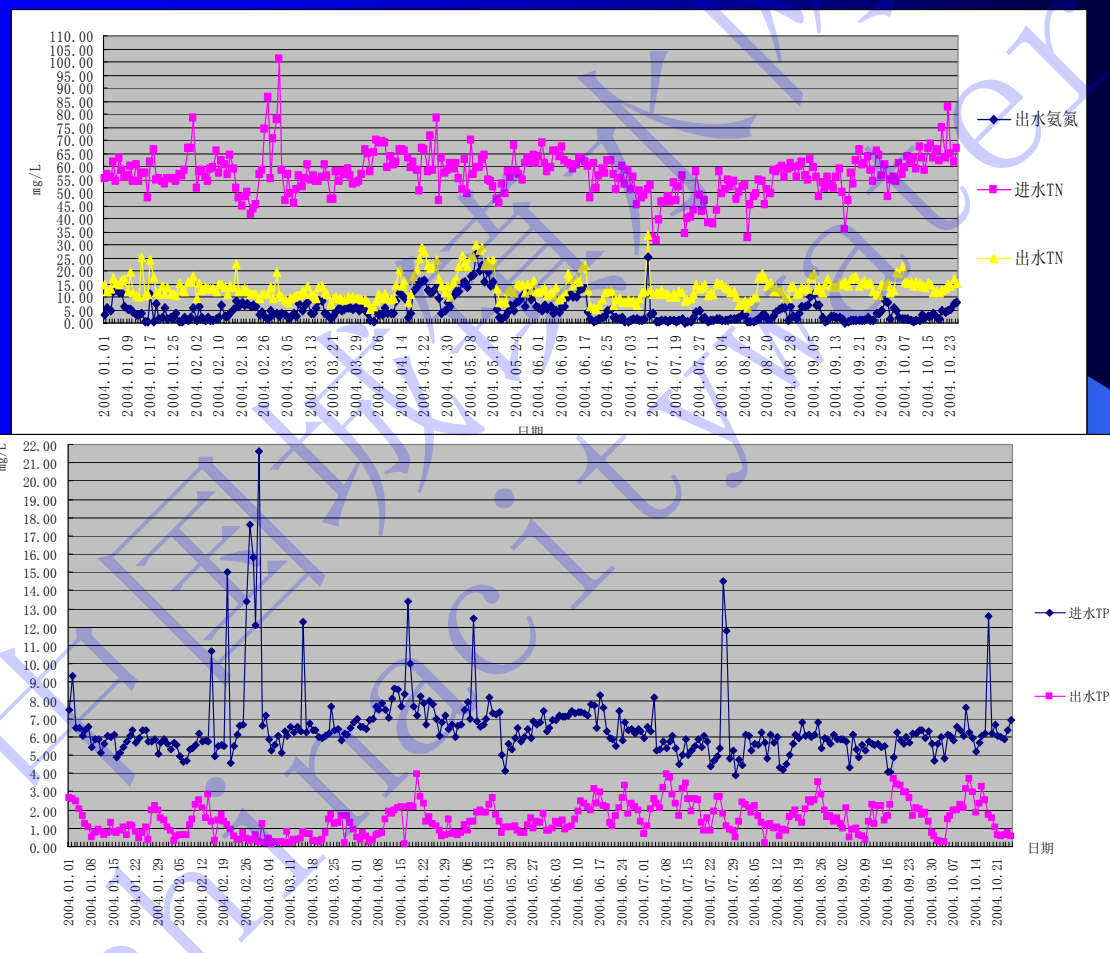


北京清河污水处理厂2004曾持续20天达到一级A标准





氧化沟工艺具有较强持续稳定的综合脱氮除磷能力 北京酒仙桥污水处理厂2004年出水水质





- 持续稳定的脱氮能力：75~80%（今年超过80%）
- 较持续稳定的除磷能力： $\Delta P=5\text{mg/L}$ （今年超过6）
- SRT=12~15 天，不利于除磷，但除磷效果非常好
 $P\%(\text{MLVSS})=(10\sim15\%) \times (20\sim30\%)=2\%\sim4.5\%$
远不止该比例！

无限大的内循环？多级串联的N-DN及同步N-DN？
长HRT、高DO — 不需要SRT太长？对除磷有利！
DN率高、二沉池大 — 释磷条件好？



SBR工艺生物脱氮除磷不易控制

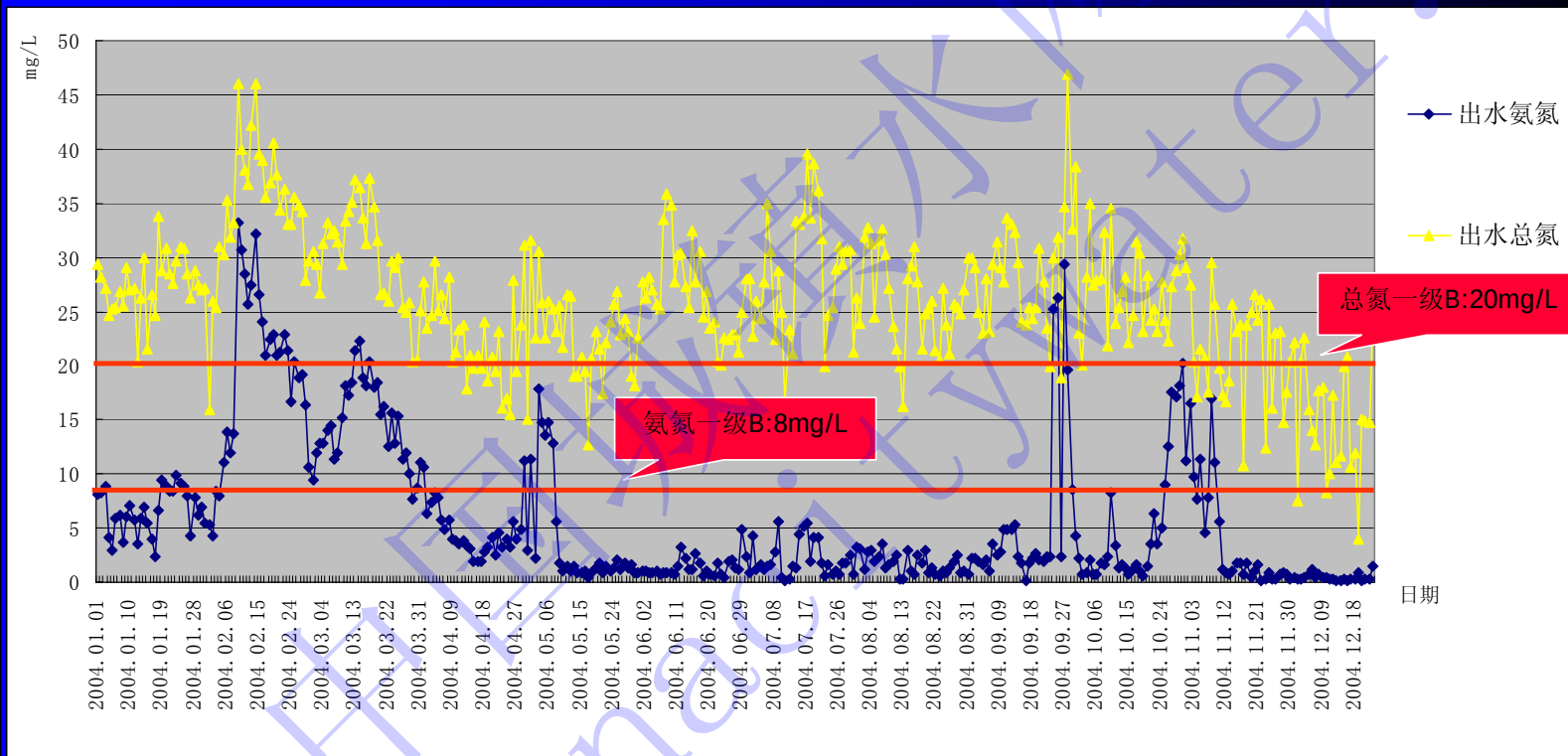
氧化分解、硝化、反硝化、释磷、吸磷多个生化过程于一体；

曝气、沉淀、滗水、搅拌混合、回流、排泥多项操作相互交替；

难于控制，总体脱氮除磷效果不佳



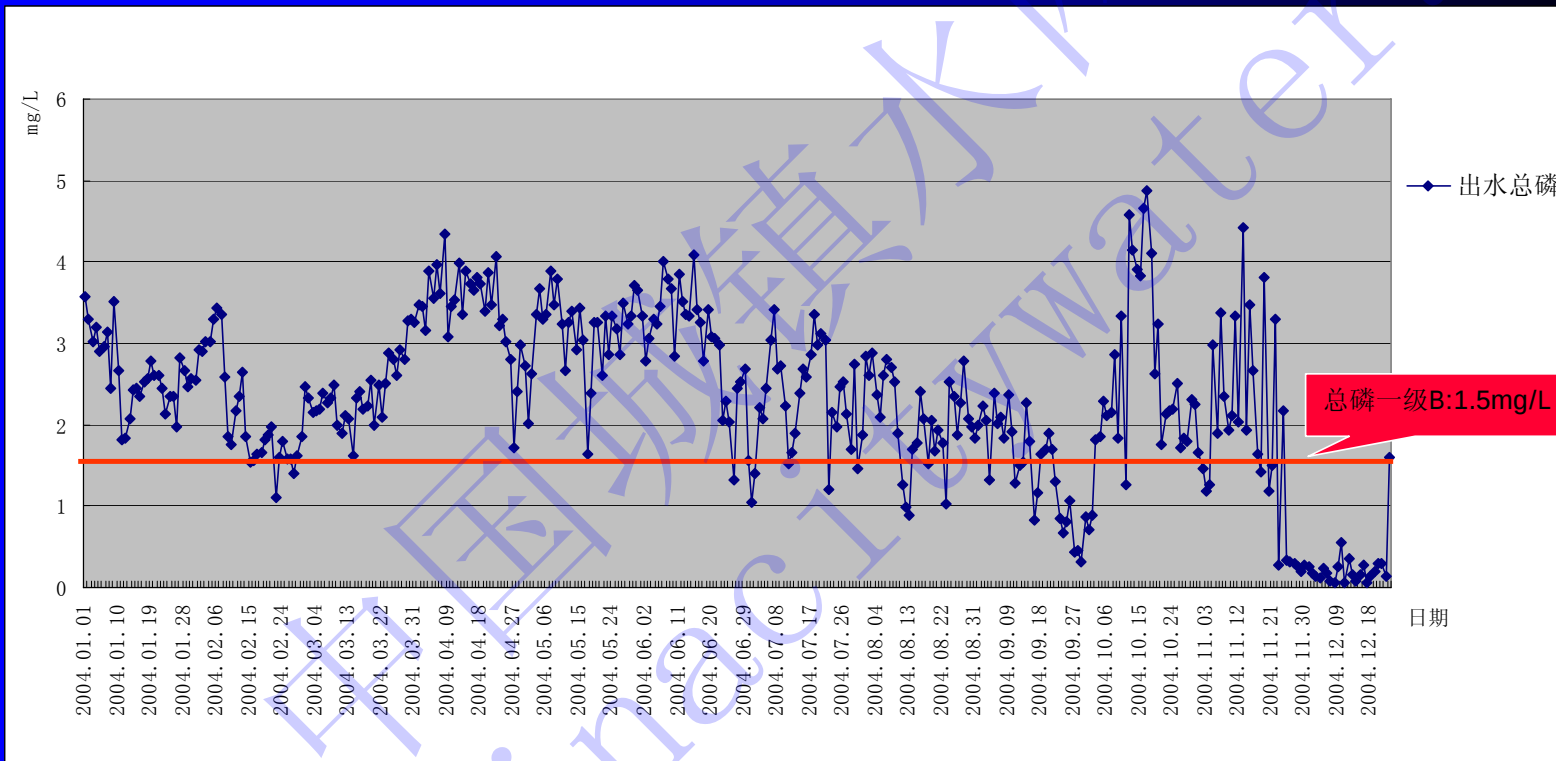
吴家村污水处理厂2004年1~12月出水氨氮、总氮



2004年1~12月出水氨氮平均5.87mg/L，总氮平均为26.1mg/L。



吴家村污水处理厂2004年1~12月出水总磷



2004年1~12月出水TP平均2.32mg/L



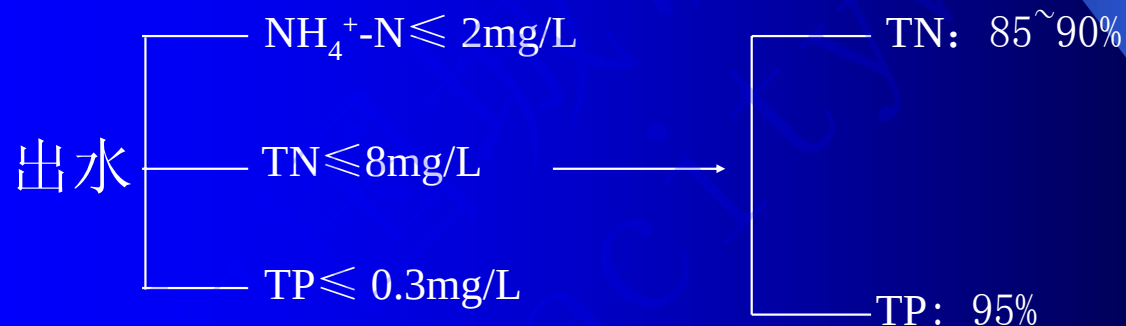
同步达标的新进展

CNR(Cilium Nutrient Removal)工艺

具有持续稳定的综合脱氮除磷能力，投资及运行成本基本持平

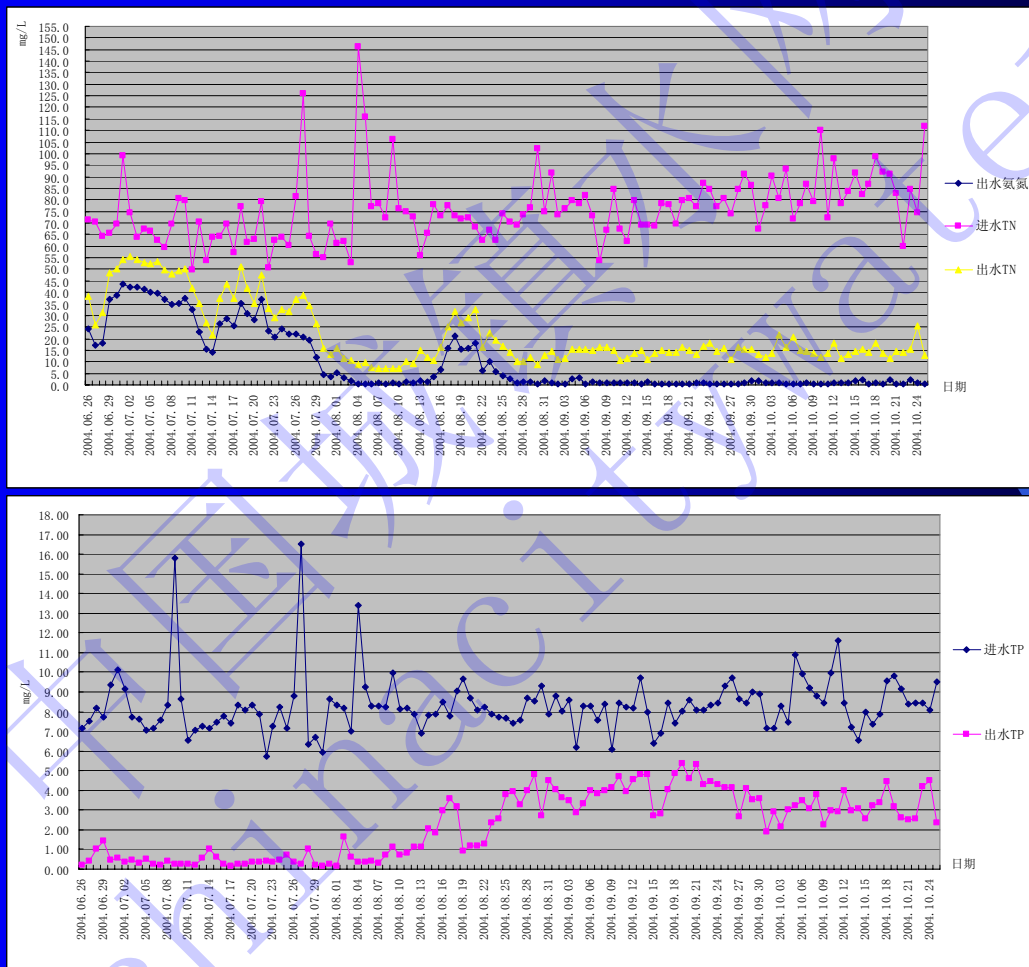
机理尚不十分清楚。用物理方法降低了硝化菌对环境的要求，从而缩小与摄磷菌的矛盾(?)

中试结果：





北京方庄污水处理厂2004年出水水质图





3.5 氮磷指标同步达标的技术方向

- 基于厌氧氨氧化、亚硝化/反硝化、好氧反硝化、缺氧吸磷（**DPB**）等机理的一些新工艺受制约较大，短期难以在工程上普遍采用
- 鉴于脱氮与除磷之间的矛盾和冲突，当对氮磷要求严格时，西方普遍采用：生物脱氮加化学除磷，牺牲成本
- 优化生物脱氮除磷系统的设计和运行



863重大科技专项《A2-O工艺优化及成套设备的研究》课题
设立了工艺优化专题
《A2-O工艺综合优化研究—5F-A2-O工艺》

- 目标：通过工艺优化，持续稳定达到一级A标准
- 典型进水：TKN = 50~60 mg/L
TP = 5~6 mg/L
→
NH₄⁺-N ≤ 5 mg/L
TN ≤ 15 mg/L
TP ≤ 0.5 mg/L
- 设计和运行控制需遵循5F准则：

C/N -C/P
SRT
DO水平及分布
R-r
VAN /VDN /VN

- 预期成果：5F-A2-O工艺设计及运行参数优化组合谱



3.6深度处理工艺对氮磷指标的提高

- 当采用混凝沉淀过滤工艺时，可达到以下水质目标：

TN: 变化不大

TP: ≤ 0.3 mg/L

- 当采用微滤膜工艺时，氮磷去除量不大
- 当采用超滤膜工艺时，对氮磷影响不大

- 当采用反渗透膜工艺时，可得到以下水质目标：

$\text{NH}_4^+-\text{N} = 0.8 \sim 1.0$ mg/L

TN = $1.5 \sim 3$ mg/L

TP $\leq 0.01 \sim 0.05$ mg/L



（三）污水处理成本控制与管理

1 污水处理成本的组成



变动成本，与水量、水质、工艺、设备直接相关，均可较准确地计算出来

1. 直接人工成本及福利
2. 直接热力及燃料
3. 直接材料费（药剂）
4. 直接电力费
5. 直接水费
6. 泥、渣、砂外运处置费

直接成本：1-6项之和



7. 检修维护费(固定资产的0.5-1.5%)

8. 大修理费

(固定资产的1.2-2.2%, 前3-4年不发生, 半基金概念)

9. 管理费(全部生产要素费用的10%左右)

经营成本:1-9项之和

10. 财务费用

11. 折旧费

政策性提取, 为基金概念, 一般为4%以上, 可加速到6%

总处理成本:1-11项之和

12. 利润和各项税费

水价:1-12项之和



2. 成本控制

- 人工费
 - (1) 优化管理结构：横班巡检制、区域综合管理、社会化服务
 - (2) 提高员工操作水平和业务能力
 - (3) 通过以上两项，控制员工数量



- 电费
 - (1) 加强生产运行调度，控制单耗，
 0.20kwh/m^3
 - (2) 提高设备的机械效率
 - (3) 能量回收利用（发电）
 - (4) 管理中应经常进行能量平衡（按流程）



- 药剂费

(1) 优化药剂的种类与品质 (3~4%)

(2) 加药系统的综合优化 (混合效果、絮凝效果)



- 自来水费
 - (1)降低用水量
 - (2)污水回用
- 热力费
 - (1)提高热交换效率
 - (2)采用高换热效率设备
 - (3)优化加热系统
 - (4)热量平衡



- 检修维护费

- (1) 编制严密计划，及时进行
- (2) 严格控制支出（一般不招标，易出漏洞）
- (3) 社会化服务
- (4) 投入运行几年之后，1%不够



- 大修费
 - (1) 编制严密计划，严格执行
 - (2) 社会化服务
 - (3) 招标
 - (4) 在高峰期，1.7%不够，仍应为基金的概念。
当检修维护不到位时，大修费将大大增加。
整个生面周期内，1.7%足够。
- 折旧

具体使用已混乱，独立的项目应只包括更新改造和还本。



3、质量成本控制----质量与成本高度相关！

- 质量成本水平

- (1) 质量成本水平：

- 与质量要求对应的成本是最优的

- (2) 不足质量成本水平：

- 不足质量的低成本是“偷工减料”

- (3) 过剩质量成本水平：

- 过高于质量要求的成本是“浪费”



- 运营质量

- (1) 运行质量:

- 出水质量

- 水质的可靠性

- (2) 维护质量:

- 最终表现为整个系统的可靠性, 持续运营的能力



● 广义的维护

(1) 检修维护:

日常的检查检验、润滑、密封、局部件更换

(2) 大修理:

全面的修理检查, 更换全部的易换件, 恢复功能, 大修周期逐渐缩短, 具体取决于维护质量

(3) 更新:

更新周期取决于大修质量及频率



- 维护质量
 - (1) 故障性维护
(BDM, Breakdown Maintenance)
 - (2) 基于时间的维护
(TBM, Time-based Maintenance)
 - (3) 基于状态的维护
(CBM, Condition-based Maintenance)
 - (4) 强调可靠性的维护
(RCM, Reliability-centered Maintenance)



谢 谢

王洪臣，北京城市排水集团
北京，崇文区，龙潭北里4号
100061

whc@bdc.cn

13910421886, 67147701

57