

高碑店污水处理厂改造及再生利用工程方案比选

王洪臣 甘一萍 王佳伟

(北京城市排水集团有限责任公司,北京 100022)

摘要 城市污水处理厂二级出水的再生利用是解决城市水资源紧缺的最有效途径之一。以北京高碑店污水处理厂升级改造及再生利用工程为例,为了同时满足多用户高标准的再生水质,提出将再生水直接处理达到地表水Ⅲ类水体标准(TN除外)。详细比较了二级生物处理和深度处理的工艺方案,最终确定了采用五因子可调A²/O工艺(5F-A²/O)进行二级强化生物脱氮除磷,并采用砂滤-O₃-BAF为主体的“新三段”工艺进行深度处理。最后分析了工程实施后所带来的环境和社会效益。

关键词 升级改造 5F-A²/O工艺 脱氮除磷 地表Ⅲ类水 污水再生利用

城市污水处理厂深度处理出水的再利用是开源节流、改善生态环境、解决城市缺水的有效途径之一,是实施循环经济、建设节约型社会发展的重要措施^[1]。近20年来,随着经济和城市化的快速发展,北京市面临着日益严重的水污染和水资源短缺问题,开发城市污水资源作为城市第二水源,对实现北京市国民经济可持续发展,缓解北京市面临的21世纪城市发展和资源短缺的矛盾具有重要的战略意义。高碑店污水处理厂升级改造及再生利用工程是实现这一水资源利用战略的重要步骤之一。

1 项目的背景及意义

2006年北京市污水排放量12.9亿m³,污水处理量9.6亿m³,再生利用3.6亿m³。污水处理厂尾水大部分是直接排入下游河道,没有得到有效利用,即使已经利用的3.6亿m³再生水,绝大部分也未经深度处理,属于二级处理直接回用,不能作为工业用水、河湖景观用水、城市杂用水的替代水源,城市污水处理厂尾水中氮磷营养物质和色度、臭味等制约了污水再生利用的范围和推广。

北京市的污水再生利用面临氮磷营养物质和色度、臭味等问题。2002年国家实施《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002),北京市大部分污水处理厂的设计在2002年以前完成,其尾水水质达不到新标准中对氮磷的去除要求,不能作为

再生水的合格水源,污水处理厂急需进行技术改造。另一方面,再生水的水质与不同用户的需求尚存在一定的差距,目前的再生水水质(主要是有机物、氮和磷等多项指标)既不能满足工业用户的要求,也不能满足景观利用的要求(见表1)。

表1 现状再生水水质与用户要求水质的比较

项目	再生水水质	热电厂标准	杂用水	景观水	地表水Ⅲ类水体标准
COD _{Cr} /mg/L	30~40	38			30
BOD ₅ /mg/L	3~6		15	6	6
TP/mg/L	0.2~0.6	0.3		0.5	0.3 (湖、库0.1)
SS/mg/L	8~15	10		10	10
TN/mg/L	20~30				(湖、库1.5)
NH ₃ -N/mg/L	0.5~5	1	10	5	1.5
pH	7~8	6.5~8.5	6.5~9	6~9	6~9
浊度/NTU	2~4	9	5	5	5
氯化物/mg/L	150~180	130			
总硬度/mg/L		280			
总碱度/mg/L	120~180	200			
溶解性固体/mg/L	750~900	700	1000		1000
Fe/mg/L	0.04~0.06	3.0			0.3
Mn/mg/L	0.12~0.15	0.2			0.1
SO ₄ ²⁻ /mg/L	90~95	150			
色度/度			30		
粪大肠菌群/个/L	<3		3	不得检出	
石油类/mg/L				1	

注:热电厂标准为北京某热电厂对再生水的水质要求;杂用水和景观水分别执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)和《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2002)。

北京市科技计划项目(D07050601500701/2/3);北京城市污水处理及再生水质提高关键技术研究及工程示范。

北京已无清洁水作为河湖天然补充水,城市污水处理厂尾水需提升水质作为替代水源。从已经实施的再生水项目看,现有的再生水水质标准也不能满足北京市的特殊要求。为了同时满足多用户高标准的再生水质,北京市政府提出将再生水直接处理达到地表水Ⅲ类水体标准。

因此,提出高碑店污水处理厂升级改造及再生利用工程,将规模为 100 万 m^3/d 的二级生物处理设施进行升级改造,使尾水达到 GB 18918—2002 一级 B 要求,同时建设规模为 100 万 m^3/d 的深度处理设施,使深度处理出水总体上达到地表水Ⅲ类标准,满足工业、城市生态景观和市政回用的要求。

2 改造工程的工艺选择

2.1 二级生物处理

为使城市污水处理厂尾水经水质提升后同时达到工业用水、河湖景观用水、市政杂用水等北京市急需替代的三种用途的水质要求,高碑店污水处理厂的二级生物处理采用脱氮除磷新工艺进行改造升级。

生物脱氮除磷工艺的类型和实施方式多种多样,各具特点^[2~4],其适用范围和应用的边界条件也存在差异,比较目前国内外的污水处理厂建设项目的工程实践和运行效果,并考虑到高碑店污水处理厂现有工艺、进水水质特点和出水水质要求,筛选出具有生物脱氮除磷功能的 A^2/O 工艺、MUCT 工艺和氧化沟工艺作为本工程的备选方案。通过对上述三种工艺进行综合技术比较(见表 2),最终确定推荐方案以“城市污水 A^2/O 处理设备成套化研究项目”(国家“十五”重大科技专项子课题)所开发的五因子可调 A^2/O 工艺($5\text{F}-\text{A}^2/\text{O}$)为主体,并利用初沉污

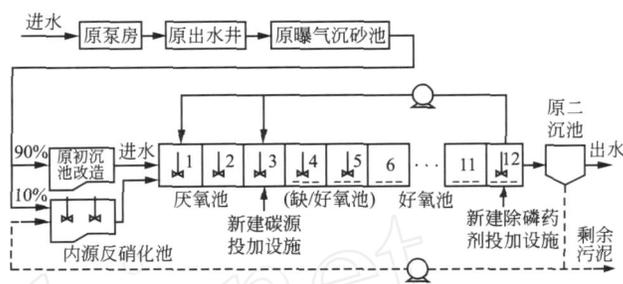


图 1 $5\text{F}-\text{A}^2/\text{O}$ 二级生物处理工艺流程

泥水解来解决污水处理厂中普遍存在的因碳源不足而影响生物脱氮除磷效果的问题(见图 1)。

2.2 再生水处理

再生水处理工程设计进水为污水处理厂升级改造的 GB 18918—2002 一级 B 标准的出水,处理后的出水水质满足再生水的要求,详见表 3。再生水处理工艺需采用生物处理和物理化学处理相结合的方式,并具有深度去除有机物、悬浮物、氮和磷等污染物的能力。根据目前国内外的再生水处理厂建设项目的工程实践和运行效果比较^[5~6],并考虑到高碑店再生水处理厂场地限制、进水水质特点和出水水质要求,筛选出以下工艺:“砂滤- O_3 -BAF”工艺、“微滤- O_2 -BAF”工艺和“MBR- O_3 ”工艺作为本工程的备选方案(见表 3)。

经过对上述三个工艺方案进行技术及经济各方面的综合比较,认为砂滤- O_3 -BAF 工艺(新三段工艺,与混凝—沉淀—过滤老三段工艺相对比)具有处理流程简单、管理简便、投资运行费用低、硝化能力强等优势,适用于本再生水处理厂工程。因此,推荐高碑店再生水处理厂升级改造中的新建再生水处理工艺采用砂滤- O_3 -BAF 新三段工艺(见图 2)。

表 2 二级生物处理三种工艺方案技术比较

工艺	$5\text{F}-\text{A}^2/\text{O}$ 工艺	MUCT 工艺	氧化沟工艺
优点	工艺成熟、控制灵活、运行管理方便,出水水质稳定; 电耗较低,运行费用较低; 通过改造初沉池为反硝化池和厌氧池,增加了生物池的体积,提高出水达标保证率; 可根据进水水质灵活调整运行工艺	工艺成熟、运行管理方便,出水水质较稳定; 工艺控制灵活; 土建工程量较少	工艺成熟、运行管理方便,出水水质稳定; 工艺控制灵活; 理论脱氮能力强; 抗冲击负荷能力强
缺点	改造部分初沉池为预缺氧池、厌氧池,土建改造量较高	无法改造利用初沉池,生物池容积较小; 厌氧池污泥浓度低,反应效率低; 出水达标保证率较低; 电耗高,运行费用较高	改造部分初沉池为预缺氧池、厌氧池,土建改造量较高; 现有工艺难以改造为典型的氧化沟工艺,风险较大; 电耗高,运行费用较高

表 3 再生水处理工艺三种方案技术比较

工艺	砂滤 - O ₃ - BAF	微滤 - O ₃ - BAF	MBR - O ₃
优点	出水水质达标,运行较稳定; 工艺控制、运行管理灵活; 不影响现有污水处理系统的正常运行; 整套工艺可建成封闭式厂房,减少臭气、噪声对周围环境的影响,视觉感官效果好; 对水量波动有较好的适应性,一般不需要超越; 工程投资低、运行费用较低	出水水质达标,运行稳定,安全性高; 运行管理灵活; 不影响现有污水处理系统的正常运行; 整套工艺可建成封闭式厂房,减少臭气、噪声对周围环境的影响,视觉感官效果好	出水水质达标,运行稳定,安全性高; 方便生物处理系统的运行管理,脱氮的效果较好,化学除磷药剂的除磷效率高; 可建成封闭式厂房,减少臭气、噪声对周围环境的影响,视觉感官效果好; 占地紧凑,不需要拆除厂区小中水等设施
缺点	正常运行时,出水水质不如膜系统,但可满足标准要求; 高浊度进水影响出水水质;初滤水(刚结束反冲洗后的初期过滤水)水质不佳; 需要拆除厂区小中水等设施	膜过滤单元需要设置超越设施,使用时影响出水水质; 需要拆除厂区小中水等设施; 工程投资、运行费用较高	需要设置超越设施,使用时影响出水水质; 需要拆除部分现有设施,如沉淀池等; 工程投资、运行费用高; 对现有污水处理系统的正常运行有影响

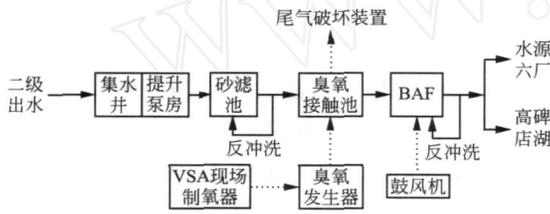


图 2 新三段再生水处理工艺流程

O₃ 氧化工艺可以使二级出水中的难生物降解有机物分解转化成易生物降解有机物,去除微量有毒有机物,使出水的生物毒性基本消除,并且可生化性得到很大的提高,有利于后续生物处理工艺对有机污染物的去除。O₃ 对细菌、病毒、芽孢、原虫等病原微生物具有很好的灭活效果,使出水中的卫生学指标(即粪大肠菌群)满足地表水 Ⅲ类水体的要求。另外, O₃ 具有很好的脱色、除臭功能,能极大的改善感官性状指标,易于被公众接受。

BAF 除了具有物理过滤作用外,生物吸附、氧化作用也是其重要的特征。因此二级出水通过 O₃ 氧化,可生化性大大提高,再经过 BAF 工艺可以使二级出水中的难降解有机物和 NH₃ - N 等污染物进一步分解转化,从而使出水水质中的相关指标满足地表水 Ⅲ类水体的要求。而且,BAF 具有很强的硝化能力,能够保证其出水 NH₃ - N 指标达到地表水 Ⅲ类水体,较低的 NH₃ - N 为后续水源六厂的加氯消毒工艺节省了大量的氯投加量。

2.3 设计出水水质

本次升级改造工程采用 5F - A²/O 工艺进行二级强化生物脱氮除磷,并采用砂滤 - O₃ - BAF 的新三段工艺进行深度处理,其各阶段设计出水水质目标如表 4 所示。

表 4 升级改造后各阶段的设计出水水质目标

指标	现况二级出水	改造后二级出水	砂滤	O ₃	BAF	混凝过滤
COD _{Cr} / mg/L	46	45	39	40	26	17
BOD ₅ / mg/L	14	12	10.5	14	4	2.5
TP/ mg/L	4.4	1.3	1.1	1.1	0.6	0.2
TN/ mg/L	41	15	14	14	13.5	13
氨氮/ mg/L	16	3	3	4.5	1	1
粪大肠菌群/ 个/L	106	106	105	104	103	102
SS/ mg/L	14	14	10	9	5	2.5
色度/ 度	30	30	25	10	5	3
Cl ⁻ / mg/L	165	165	165	165	160	180
浊度/ NTU	12	11	8	5	2	1
COD _{Mn} / mg/L	16	15	12	11.5	6	4
DO/ mg/L	2	2	2	>5	>5	>5

3 环境和社会效益分析

工程改造完成后,将为北京市的主要热电厂提供工业冷却水,盘活城市东部水系,保证河道的景观用水。其中,17 万 m³/d 深度处理出水提供给水源六厂,经水源六厂处理后的各水质指标基本满足地表水 Ⅲ类水体标准,可供热电厂冷却用水、市政杂用和河湖补水。83 万 m³/d 深度处理出水补充给高碑店湖,各水质指标基本满足地表水 Ⅲ类水体标准,可作为上下游河湖补水和热电厂冷却水水源。

高碑店污水处理厂的升级改造和再生利用工程开发污水资源作为第二水源,对实现可持续发展战略,缓解 21 世纪北京市发展和资源紧缺的矛盾具有重要的战略意义。北京城区河道湖泊还清后,在改善城市投资环境,促进经济发展的同时,也改善了百姓的居住环境,为 2008 年奥运会的成功举办创造良好的城市环境。

HYBRID 工艺在污水处理厂改造中的应用

徐灿华¹ 王锡清²

(1 上海城市排水有限公司,上海 200070; 2 上海市政工程设计研究总院,上海 200092)

摘要 随着《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的实施,早期建设的城镇污水处理厂均面临着达标改造的问题。介绍了一种新型污水处理工艺——HYBRID 工艺的原理及流程,并结合工程实例介绍了该工艺的设计运行情况。工程改造后的出水水质表明,工艺运行情况良好,并具有新建构筑物少、占地面积小等特点,尤其适合老厂改造。

关键词 活性污泥法 HYBRID 工艺 达标改造 污水处理厂

随着《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的实施,污水处理厂出水 COD_{Cr}、BOD₅、SS、TN、NH₃-N、TP 以及粪大肠菌群数均有了更严格的规定,对已建的污水处理厂,特别是 20 世纪 80 年代建设的污水处理厂,由于多采用传统活性污泥法,且设备老化,均面临达标改造问题。随着城市建设的不断发展,城市中心区域的不断扩大,早期建设于城市边缘地区的污水处理厂的相对位置亦随之发生变化,大部分已位于中心城区,用地一般都相对较紧张,用地面积的限制往往成为制约污水处理厂工艺选择的主要因素。本文介绍了一种新型污水处理工艺——HYBRID 工艺(改良型二段法),并结合上海天山污水处理厂深度处理改造工程对工艺进行分析。

1 HYBRID 工艺原理及流程

HYBRID 污水处理工艺是根据生物脱氮除磷

的原理开发的一种二段法处理工艺。生物脱氮是在好氧条件下,利用硝化菌的作用,使含氮有机物转化为硝酸盐氮,随后在缺氧条件下,由反硝化菌作用,并由外加氮源提供的能量,使硝酸盐氮变成氮气溢出,这两个过程称为硝化反应和反硝化反应。

生物脱氮系统中,由于硝化菌是一种自养细菌,增长速度缓慢,所以要有足够的污泥泥龄,反硝化菌的生长主要在缺氧条件下运行,要有足够的碳源。由此可见,硝化与反硝化反应需要具备以下条件:

硝化反应需要足够的溶解氧(DO 2 mg/L)、合适的温度(12)、足够长的污泥泥龄和合适的 pH 等条件。反硝化反应需要硝酸菌的存在、缺氧(DO 约为 0.2 mg/L)、充足的碳源和合适的 pH 等条件。

生物除磷是利用聚磷菌的特殊性能,即在厌氧状态下,聚磷菌能释放磷;在好氧状态下,可超量吸

参考文献

- 周军,王佳伟,应启峰,等. 城市污水再生利用现状分析. 给水排水, 2004, 30(2): 46~48
- Bu S, Einfeldt J, Günter H, et al. Upgrading of wastewater treatment plants to achieve advanced standards concerning nutrient removal. Wat Sci Tech, 1994, 29(12): 49~58
- Teichgräber B. Acidification of primary sludge to promote increased biological phosphorus elimination and denitrification. Wat Sci Tech, 2000, 41(9): 163~170
- Manhem P, Palmgren T. Upgrading and expansion of the Käppala wastewater treatment plant. Operational experiences and results. Wat Sci Tech, 2004, 50(7): 9~17
- Ujang Z, Ng K S, Tg Hazmin TH, et al. Application of immersed MF (IMF) followed by reverse osmosis (RO) membrane for wastewater reclamation: A case study in Malaysia. Wat Sci Tech, 2007, 56(9): 103~108
- Payraudeau M, Pearce A R, Goldsmith R, et al. Experience with an up-flow biological aerated filter (BAF) for tertiary treatment: from pilot trials to full scale implementation. Wat Sci Tech, 2002, 44(2-3): 63~68

& 通讯处: 100022 北京朝阳高碑店甲 1 号 王佳伟

电话: (010) 51352883

E-mail: wangjiawei@bdc.cn

收稿日期: 2008-03-30