

附件二：

《厌氧 缺氧 好氧活性污泥法污水处理 工程技术规范》编制说明

（征求意见稿）

目 次

1 标准制定工作概述	1
1.1 任务来源和工作过程	1
1.2 法律和技术依据	1
1.3 编制原则	2
2 A/A/O 活性污泥法工艺的特点及现状	3
2.1 A/A/O 工艺的发展及国内外应用现状	3
2.2 A/A/O 工艺的主要特点	8
2.3 A/A/O 的主要工艺形式	9
3 规范的主要内容说明	14
3.1 A/A/O 工艺的适用性	15
3.2 A/A/O 的适用处理规模	15
3.3 设计流量和设计水质	15
3.4 预处理的选择	16
3.5 普通 A/A/O 工艺设计参数	16
3.6 A/A/O 工艺的曝气设备	17
3.7 搅拌装置	17
3.8 监测与运行管理	17
4 实施本规范的管理措施建议	19

1 标准制定工作概述

1.1 任务来源和工作过程

国家环境保护标准“十一五”规划指出，用 5 年的时间，基本建立起我国环境工程技术规范标准体系，提升我国环境工程技术标准化及管理水平。到 2008 年，基本完成基础规范、通用技术规范、工艺方法类规范的编制工作，到 2015 年基本完成重点行业污染治理工程技术规范，逐步建立中国最佳可行技术体系。

2005 年国家环境总局下达了环境工程技术规范的编制任务，由机科发展科技股份有限公司作为第一编制单位承担《A/A/O 活性污泥法污水处理工程技术规范》标准的研究、编制任务，参编单位还有中国环保产业协会（水污染治理委员会）、北京城市排水集团有限责任公司、北京市市政工程设计研究总院。

编制工作从国内外相关标准和文献的资料调研开始，对国内外氧化沟相关的规范、技术资料 and 工程实例进行了广泛的调研，编制了开题报告和编制大纲。2006 年 9 月，国家环保总局科技司在京组织召开开题论证会，与会专家认为工作基础扎实、技术路线合理、编制方案可行，同意开题。2007 年 10 月，形成了规范初稿，经专家讨论、修改后，于 2008 年 2 月报中国环保产业协会。2008 年 3 月，中国环保产业协会组织召开初审会，会议认为考虑到我国幅员辽阔，各地水质、气候差距较大，主要设计参数还应征求更多设计单位的意见。为此，国家环保总局科技司于 2008 年 4 月在京组织召开了活性污泥法设计参数研讨会，到会的有全国各大市政设计院、水务公司和污水厂运行企业的代表。会后，按照专家意见，反复修改，于 2008 年 6 月形成征求意见稿和编制说明。

1.2 法律和技术依据

在国家现行建设项目环境保护条例和相关环境监督管理法律法规中，对环境保护设施的建设与正确使用均提出了要求。本规范属于环境污染治理工艺方法规范，是国家环境标准体系之环境工程技术规范的一个组成部分，与环境污染治理工程技术规范并用，将为环境保护设施的建设、运行以及环境监督管理的标准化提供技术支撑。

本规范的编制以国家环境保护现有法律、法规、标准为主要依据，同时参考水处理行业其他相关的技术规范和设计手册，结合国内外有关 A/A/O 建设运行的文献以及调研取得的国内 A/A/O 运行情况数据资料，总结编制了本规范。其中涉及的法规、标准主要有：

GB 3096	城市区域环境噪声标准
GB 12348	工业企业厂界噪声标准
GB 12523	建筑施工场界噪声限值
GB 12801	生产过程安全卫生要求总则
GB 18599	一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
GB 18918	城镇污水处理厂污染物排放标准

GB 50014	室外排水设计规范
GB 50015	建筑给排水设计规范
GB 50040	动力机器基础设计规范
GB 50053	10kV 及以下变电所设计规范
GB 50187	工业企业总平面设计规范
GB 50204	混凝土结构工程施工质量验收规范
GB 50222	建筑内部装修设计防火规范
GB 50231	机械设备安装工程施工及验收通用规范
GB 50268	给水排水管道工程施工及验收规范
GBJ 16	建筑设计防火规范
GBJ 87	工业企业噪声控制设计规范
GBJ 141	给水排水构筑物施工及验收规范
GBZ 1	工业企业设计卫生标准
GBZ 2	工业场所有害因素职业接触限值
CJ 3025	城市污水处理厂污水污泥排放标准
CJJ 60	城市污水处理厂运行、维护及其安全技术规程
CJ/T 51	城市污水水质检验方法标准
HJ/T 242	环境保护产品技术要求 污泥脱水用带式压榨过滤机
HJ/T 251	环境保护产品技术要求 罗茨鼓风机
HJ/T 252	环境保护产品技术要求 中、微孔曝气器
HJ/T 278	环境保护产品技术要求 单级高速曝气离心鼓风机
HJ/T 279	环境保护产品技术要求 推流式潜水搅拌机
HJ/T 283	环境保护产品技术要求 厢式压滤机和板框压滤机
HJ/T 335	环境保护产品技术要求 污泥浓缩带式脱水一体机
HJ/T 353	水污染源在线监测系统安装技术规范（试行）
HJ/T 354	水污染源在线监测系统验收技术规范（试行）
HJ/T 355	水污染源在线监测系统运行与考核技术规范（试行）
JGJ 37	民用建筑设计通则

《建设项目竣工环境保护验收管理办法》（国家环保局，2001 年）

1.3 编制原则

本规范编制遵循以下主要原则：

（1）实践性原则。分析总结城镇污水和工业废水 A/A/O 处理工程实践经验和存在问题，按照工程技术规范编制总原则的要求，确定规范的结构和内容。

（2）完整性原则。根据环境工程技术规范应服务于环境管理、运行管理以及工程设计

与验收的要求，规范的内容应包括工艺方法、运行管理等主要技术要求的内容，基本覆盖普通 A/A/O 工艺及主要的变形工艺方法。

(3) 科学性原则。规范的工艺方法分类科学、层次清晰、结构合理，并具有一定的可分解性和可扩展空间。

(4) 先进实用与可操作性原则。规范的主要内容应既代表了当前的先进水平，又应以大量的工程实践为基础，突出技术要求的针对性和科学合理性，以便于使用。

2 A/A/O 活性污泥法工艺的特点及现状

2.1 A/A/O 工艺的发展及国内外应用现状

厌氧/缺氧/好氧活性污泥法 (A/A/O- Anaerobic/Anoxic/Oxic) 是活性污泥法的一种。活性污泥法是应用最广泛的污水处理技术之一。活性污泥法于 1914 年开创于英国的曼彻斯特，至今已有 90 多年的历史。A/A/O 工艺是在 70 年代，由美国的一些专家在厌氧-好氧 (An-O) 法脱氮工艺的基础上开发的，其宗旨是开发一项能够同步脱氮除磷的污水处理工艺。

1980 年，Rabinowitz 和 Marais 在对 Phoredox 工艺的研究中，提出 3 阶段的 Phoredox 工艺，即为传统的 A/A/O 工艺。同年，美国 AirProducts 公司申请了 A/A/O 工艺的专利权。由于该工艺兼有脱氮除磷的功能，加上其工艺流程的简单性，一直备受污水处理行业研究者和设计者的青睐。近年来，随着对污水除磷脱氮机理研究的不断深入，以及对当前污水处理工程设计、建设和运行经验的不断总结，A/A/O 工艺得以不断地发展和完善，涌现出一大批改良型的 A/A/O 工艺，如倒置 A/A/O、UCT、MUCT、VIP、OWASA、JHB 等等，这些工艺在世界范围内的污水处理工程中相继得到了应用。

我国污水处理事业起步较晚，开始于二十世纪七八十年代。在 1995 年以前，我国建设的污水处理厂所选工艺中多以普通曝气法为主，1995 年后，随着对水环境要求的提高，尤其是近年来对污水处理厂出水氮、磷限制力度的加强，我国先后引进了国外的许多新技术、新工艺和新设备，如 AB 法、氧化沟法、A/O 工艺、A/A/O 工艺和 SBR 法等，并在全国内推广应用。目前，我国现有城市污水处理厂中 80% 以上采用的是活性污泥法，其中，A/A/O 及其变形工艺以其流程简单、运行管理方便、且能同时兼顾除磷脱氮要求等优点成为当前城市污水处理的主流工艺之一。

下面重点介绍国内外几个选用 A/A/O 或其变形工艺的典型污水处理厂的运行实例。

2.1.1 国内应用

国内选用 A/A/O 及其变形工艺的污水处理厂较多，在实际运行过程中发现氮、磷去除矛盾突出，出水水质中氮、磷两项指标难以同时达标。下面介绍国内几个不同地区采用 A/A/O 及其变形工艺且运行状况较好的污水处理厂实例。

a. 清河污水处理厂

清河污水处理厂是北京市排水集团京北分公司下辖的几个主要污水处理厂之一，位于清

河北岸，清河镇以东马坊村。该厂一期工程设计日处理能力 20 万 m³，采用活性污泥法延时曝气工艺，于 2000 年 12 月开工，2002 年 9 月正式投产运营；二期工程设计日处理能力仍为 20 万 m³，采用倒置 A/A/O 工艺，于 2003 年 9 月开工建设，目前已建成通水。

清河污水处理厂实际运行过程中的进出水水质如表 1 所示(文中引用的实际运行中的进出水水质资料实际上指的是该厂在某一段时期内的平均进出水水质，下同)。从表中数据来看，清河污水处理厂的出水水质基本满足设计出水指标要求，同时达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的一级 B 标准(见表 2)，总体运行效果良好。其中，氮的去除率高，而出水磷浓度未能达到设计出水要求。

表 1 清河污水处理厂实际运行中的进出水水质

项目	进 水 (mg/L)	出 水 (mg/L)	去除率(%)	设计出水指标 (mg/L)
BOD ₅	230.6	12.1	94.8	20
COD	467.2	44.3	90.5	60
SS	304.0	10.9	96.4	20
氨氮	36.8	4.16	88.9	15
磷	6.4	1.26	80.3	1.0

表 2 城镇污水处理厂污水主要污染物排放标准 (GB18918-2002)

项目	一级标准(mg/L)		二级标准(mg/L)	三级标准(mg/L)	
	A 标准	B 标准			
化学需氧量(COD)	50	60	100	120	
生化需氧量(BOD ₅)	10	20	30	60	
悬浮物(SS)	10	20	30	50	
总氮(以 N 计)	15	20	—	—	
氨氮(以 N 计)	5(8)	8(15)	25(30)	—	
磷	2005.12.31 前建	1	1.5	3	5
	2006.01.01 后建	0.5	1	3	5

注：表中括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

b. 莆田市污水处理厂

福建省莆田市建设局主管的莆田市污水处理厂，位于莆田市涵江区白塘镇显应村。该厂采用 A/A/O 工艺，设计的日处理能力近期为 8 万 m³，远期为 16 万 m³。工程于 1999 年 11 月开工，2002 年 9 月通水运行。

莆田市污水处理厂实际运行过程中的进出水水质如表 3 所示。从表中数据可以看出，莆田市污水处理厂的出水水质满足设计出水指标要求，达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的一级 B 标准，由于进水氮、磷浓度低，出水中氨氮和磷的浓度甚至达

到了一级 A 标准，运行效果十分理想。

表 3 莆田市污水处理厂实际运行中的进出水水质

项目	进 水 (mg/L)	出 水 (mg/L)	去除率(%)	设计出水指标 (mg/L)
BOD ₅	66.1	5.2	92.13	20
COD	195.37	35.1	82.03	60
SS	190.8	11.4	94.03	20
氨氮	13.0	1.58	87.85	8
磷	3.6	0.44	87.78	1.5

c. 昆明市第二污水处理厂

昆明市城市排水公司下属的昆明市第二污水处理厂位于昆明官渡区六甲乡。该厂设计的日处理能力为 10 万 m³，采用 A/A/O 工艺，主要设计参数有：混合液内回流比最高达 400%；污泥外回流由两部分构成，一部分由二沉池回流至厌氧池，回流比为 5%~10%，另一部分是由二沉池回流至缺氧池，回流比为 80%~90%；厌氧池停留时间为 2.12h。工程于 1994 年 3 开工，1996 年 1 月正式投产。

昆明市第二污水处理厂实际运行过程中的进出水水质如表 4 所示。从表中数据可以看出，该厂的出水水质完全满足设计出水指标要求，同时也达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）的一级 A 标准，氮、磷的去除效果非常显著，总体运行效果十分理想。

表 4 昆明市第二污水处理厂实际运行中的进出水水质

项目	进 水 (mg/L)	出 水 (mg/L)	去除率(%)	设计出水指标 (mg/L)
BOD ₅	90.9	9.3	89.8	15
COD	153.8	30	80.5	50
SS	38.0	10	73.5	15
氨氮	24.6	2.0	91.8	15
磷	3.1	0.4	87.1	1.0

d. 涪陵污水处理厂

重庆市三峡水务有限责任公司下属的涪陵污水处理厂位于重庆市涪陵区江东办事处插旗居委七组。该厂采用 A/A/O 工艺，设计日处理能力 8 万 m³。工程于 2001 年 12 月开工，2003 年 5 月投产。

涪陵污水处理厂实际运行过程中的进出水水质见表 5。由表中数据可以看出，涪陵污水处理厂的出水水质满足设计出水指标要求，同时也达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）的一级 B 标准，氮、磷的去除率高，运行效果良好。

表 5 涪陵污水处理厂实际运行中的进出水水质

项目	进 水 (mg/L)	出 水 (mg/L)	去除率(%)	设计出水指标 (mg/L)
BOD ₅	180	8.5	95	20
COD	300	38	87	60
SS	200	18	91	20
氨氮	25	2.0	92	15
磷	4	0.3	93	0.5

e. 团岛污水处理厂

团岛污水处理厂位于青岛市市南区团岛四路北侧，设计规模为 10 万 m³/d。该厂生物池采用改进 A/A/O 工艺，平行设四格，每格设回流污泥反硝化、生物除磷、反硝化、硝化/反硝化、硝化及除气区等六个区。泥龄为 15 天，MLVSS 为 3.3 g/L，污泥回流比为 100%~150%，混合液回流比为 400%，反硝化和硝化区的体积比为 1:1.95。该厂于 1998 年建成调试并运行。

团岛污水处理厂实际运行过程中的进出水水质见表 6。该厂地处缺水严重的青岛市，水资源的利用率高，因此进水水质的各项指标浓度都非常高。出水水质中除磷外，其他指标均能达到设计要求，同时也能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）的一级 B 标准。磷的去除率虽然达到 80%，但由于进水中磷浓度高达 29.3 mg/L，出水中磷浓度仍有 5.8 mg/L。

表 6 团岛污水处理厂实际运行中的进出水水质

项目	进 水 (mg/L)	出 水 (mg/L)	去除率(%)	设计出水指标 (mg/L)
BOD ₅	701.7	22.9	96.7	30
COD	1362	63.6	95.3	100
SS	1103.2	18.2	98.4	30
氨氮	92.9	8.6	91	25
磷	29.3	5.8	80	3

2.1.2 国外应用

国外污水处理技术发展较快，传统的 A/A/O 工艺得以不断的改进和发展，因此，A/A/O 变形工艺及其他相关工艺也得以广泛应用，如 Phostrip、VIP、Phoredox、UCT 等工艺，在美国、加拿大以及非洲的几个国家应用较多。由表 7 中污水处理厂出水氮、磷数据可以看出，根据各厂进水特点和处理目标选用不同的 A/A/O 变形工艺或其他工艺，污水处理效果良好。对照中国《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）以及国外相关标准来看，

大部分污水处理厂的氮去除率高，均能达标排放，而磷去除效果不稳定，如美国的 Largo、York River 以及南非的 Goudkoppies 等污水处理厂出水磷浓度仍然很高。

表 7 国外除磷脱氮工艺的部分工程实例

污水处理厂名	处理规模 (m ³ /d)	处理工艺	出水 TN (mg/L)	出水 TP (mg/L)
美国 Uookers Point	36300	Bardenpho 工艺	≤3.0	
美国 Reno-Sparks	100300	Phostrip 工艺	≤4.6	
美国 Largo	37100	A/A/O 工艺	≤8.0	≤2.4(PO ₄ ³⁻⁻ -P)
美国 Lamberts Point	151400	VIP 工艺	≤10.0	≤0.79(PO ₄ ³⁻⁻ -P)
美国 Pallmetto	5300	phoredox 工艺	≤3.0	
加拿大 Kelowna	22500	3-Bardenpho 工艺	≤0.14	≤0.3
加拿大 Penticton	15000	UCT 工艺	≤1.0	≤0.3
美国 Tahoe-Truckee	36300	Phostrip 工艺		≤0.58
美国 York River	57000	VIP 工艺		≤3.0
南非 Goudkoppies		phoredox 工艺		≤5.9
津巴布韦 Bulawayo	11350	phoredox 工艺		≤1.0
哥伦比亚 Kolowna	23000	phoredox 工艺		≤1.0
南非 Terobisa	36000	A/A/O 工艺		≤0.8
加拿大 Calgary	5000	3-Bardenpho 工艺		≤0.7

英国泰晤士水处理公司在 Beckton 建成 30000 m³/d 处理规模的 JHB 生物除磷脱氮工艺示范工程，并于 1993 年 4 月投入运行。该厂设计的主要参数有：混合液回流比为 200%~400%，厌氧区的回流比为 10%~20%，厌氧、缺氧和好氧三段的停留时间分别为 0.7、1.0 和 5.1h。

Beckton 污水处理厂 12 周的运行结果见表 8，分析表明：JHB 工艺示范工程有机物去除和硝化效果良好；具有较好的生物除磷脱氮效果，但不能满足欧共体都市污水处理指令（European Community Urban Waste Water Directive: ECUWWD, 1991）的要求，尤其磷的去除效果很不理想，甚至无法满足我国《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）二级标准的要求；在厌氧区硝酸盐浓度低和初沉污水短链脂肪酸浓度高时，生物除磷效果较好。如果要达到出水磷 1 mg/L 的标准，就必须提高进水短链脂肪酸的浓度。

表 8 Beckton 污水处理厂实际运行中的进出水水质

项目	初沉出水(mg/L)	最终出水(mg/L)	ECUWWD(mg/L)
BOD ₅	129±83	10±4	
COD	360±396	38±17	
SS	108±88	11±7	

总凯氏氮	28.0±9.1	2.4±1.2	
氨氮	19.8±4.0	1.0±2.0	
硝态氮	0.0±0.0	7.2±2.6	
总氮	28.0±9.1	10.6±7.9	10(服务人口>10万)
总磷	7.3±2.3	3.4±1.3	1.0(服务人口>10万)

2.2 A/A/O 工艺的主要特点

综合分析当前国内外采用 A/A/O 及其变形工艺的城市污水处理厂的工程建设和运行资料,可以看出, A/A/O 及其变形工艺在实际的工程应用中,与污水处理的其他生物技术相比较,主要具有以下特点:

a. 应用普及率高

除磷脱氮,是当前全世界范围内污水处理行业共同提出的新要求。A/A/O 及其变形工艺由于能同时满足该项要求,且处理构筑物少,处理工艺相对简单,运行管理相对方便,从而在大多数国家和地区得到了广泛地应用。以我国为例,在北京、上海、山东、江苏、云南、河北、福建、四川、重庆、陕西等省市均建有不同处理规模的 A/A/O 及其变形工艺的污水处理厂。

b. 设计处理规模多样

为适应不同地区不同污水量的处理要求,当前设计建设的 A/A/O 及其变形工艺污水处理厂中,设计处理规模的范围分布较广,小到几万 m³/d,大到几十万 m³/d 甚至上百万 m³/d。可见, A/A/O 及其变形工艺的适应性强,能满足不同污水处理规模的工艺要求。

c. 泥龄长短矛盾突出

一般在活性污泥处理系统泥龄的设计时,考虑的是高负荷时为 0.2~2.5d,中负荷时为 5~15d,低负荷时为 20~30d。而在 A/A/O 及其变形工艺中,泥龄越长,越有利于脱氮,但系统排泥量小,不利于除磷;相反的,短泥龄虽有利于除磷,但又不利于氮的去除。因此,泥龄长短成为污水除磷脱氮处理的主要矛盾。在 A/A/O 及其变形工艺的实际运行中,根据不同进水的氮磷浓度及处理要求,设计不同的泥龄。综合除磷脱氮两个过程对泥龄的要求,一般设计泥龄的变化范围较广,大多在 8~25d 范围内。

d. 内外回流比变化范围大

在 A/A/O 及其变形工艺系统中一般有两条回流线路设计,一条是从好氧池到缺氧池的混合液回流,称为内回流;另一条是从二沉池至厌氧池的污泥回流,称为外回流。内回流为缺氧池的反硝化过程提供电子受体,而外回流则是为整个处理系统提供微生物。确定内外回流比例的因素有很多,主要依据是氮磷的去除效果,一般该系统中设计内回流比为 200%~400%,外回流比为 60%~150%。

e. 厌氧、缺氧、好氧三段体积比不一

A/A/O 及其变形工艺的厌氧、缺氧、好氧三段体积比直接决定着各段的水力停留时间,

而三段的水力停留时间之间又相互制约、相互影响。不同的污水处理厂，根据不同的处理要求，设计不同体积的厌氧池、缺氧池和好氧池。目前建设的污水处理厂中，厌氧、缺氧、好氧三段体积比一般为 1:1:(3~4)，但不同的污水处理厂采用三段体积比例的差异较大。

f. 出水水质基本达标

国内外大多数采用 A/A/O 及其变形工艺的污水处理厂出水水质能达到设计要求，在运行正常的情况下，运行效果良好。当进水氮、磷浓度较高时，除磷脱氮的矛盾突出，两者难以同时达标排放。

2.3 A/A/O 的主要工艺形式

2.3.1 Wuhrmann 工艺

1932 年开发的 Wuhrmann 工艺是最早的脱氮工艺（见图 1），流程遵循硝化、反硝化的顺序而设置。由于反硝化过程需要碳源，而这种后置反硝化工艺是以微生物的内源代谢物质作为碳源，能量释放速率很低，因而脱氮速率也很低。此外污水进入系统的第一级就进行好氧反应，能耗太高；如原污水的含氮量较高，会导致好氧池容积太大，致使实际上不能满足硝化作用的条件，尤其是温度在 15℃ 以下时更是如此；在缺氧段，由于微生物死亡释放出有机氮和氨，其中一些随水流出，从而减少了系统中总氮的去除。因此该工艺在工程上不实用，但它为以后除磷脱氮工艺的发展奠定了基础。

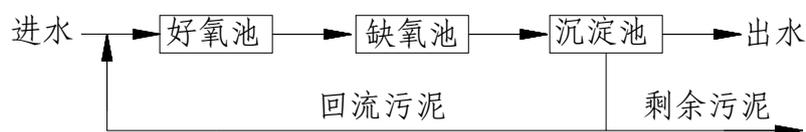


图 1 Wuhrmann 脱氮工艺流程

2.3.2 A/O 工艺

1962 年，Ludzack 和 Ettinger 首次提出利用进水中可生物降解的物质作为脱氮碳源的前置反硝化工艺，解决碳源不足的问题。

1973 年，南非的 Barnard 提出改良型 Ludzack-Ettinger 脱氮工艺，即广泛应用的 A/O 工艺（见图 2）。这种工艺是在曝气池前设缺氧池，原污水或经过预处理的污水在这个池内与回流污泥充分混合。A/O 工艺中，回流液中的大量硝酸盐到缺氧池后，可以从原污水得到充足的有机物，使反硝化脱氮得以充分进行。但是 A/O 工艺不能达到完全脱氮的效果，因为好氧池总流量的一部分没有回流到缺氧池而是直接随出水排放了。同时，在缺氧池中发生的反硝化反应对碳源的争夺，也阻碍了回流污泥中磷的释放。因此 A/O 工艺的脱氮除磷效果有待改进。根据当地水质特点，我国有部分污水处理厂采用了 A/O 工艺，部分指标的去除率基本令人满

意。

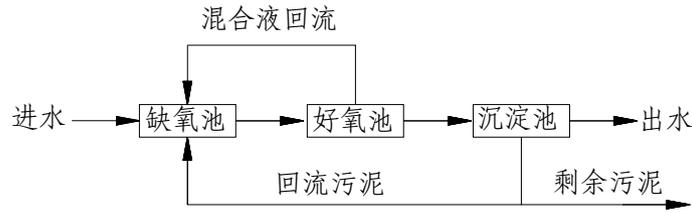


图2 A/O 工艺

2.3.3 Bardenpho/Phoredox 工艺

为了克服A/O工艺的不足，1973年Barnard把A/O工艺与Wuhrmann工艺结合起来，提出了Bardenpho工艺。图3所示的Bardenpho工艺属于早期生物脱氮除磷工艺，混合液回流中的硝酸盐与亚硝酸盐对生物除磷有非常不利的影响。

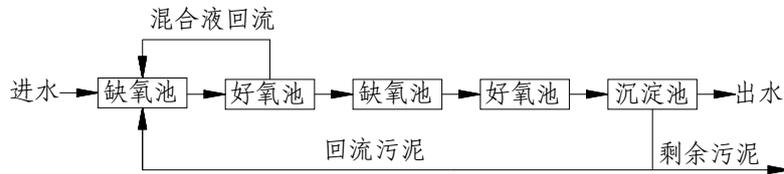


图3 Bardenpho 工艺

1976年，Barnard通过对Bardenpho工艺进行中试研究后提出：在Bardenpho工艺的初级缺氧反应器前加一厌氧反应器就能有效除磷（见图4）。该工艺在南非被称为Phoredox工艺，在美国称之为改良型Bardenpho工艺。图4所示Phoredox工艺与A/O工艺一样，将回流污泥与原污水或经预处理的污水在厌氧池内完全混合。接下来是两组硝化与反硝化池，在这两组池内将完成彻底的反硝化作用，这样回流污泥中就不会含有硝酸盐与亚硝酸盐。这种工艺特别适合于低负荷污水厂的生物除磷脱氮。如果二级反硝化对脱氮效果的意义不大时，可以将一级曝气池后的反硝化及曝气池省略。

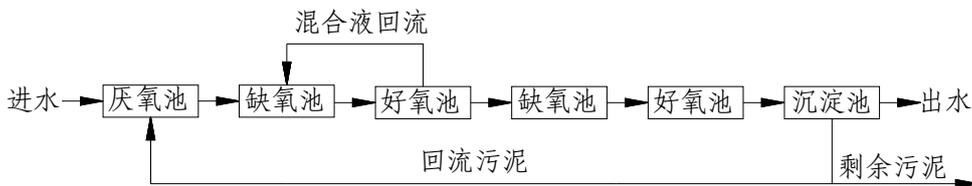


图4 Phoredox 工艺或改良型 Bardenpho 工艺

2.3.4 A/A/O 工艺

1980年，Rabinowitz和Marais在对Phoredox工艺的研究中，提出3阶段的Phoredox工艺，即传统的A/A/O工艺（见图5）。传统的A/A/O工艺中，污水首先进入厌氧池与回流污泥混合，在兼性厌氧发酵菌的作用下部分易生物降解大分子有机物被转化为小分子的挥发性脂肪酸（VFA），聚磷菌吸收这些小分子有机物合成聚- β -羟基丁酸（PHB）并储存在细胞内，同时将细胞内的聚磷水解成正磷酸盐，释放到水中，释放的能量可供专性好氧的聚磷菌在厌氧的压抑环境下维持生存；随后污水进入缺氧池，反硝化菌利用污水中的有机物和回流混合液中的硝酸盐进行反硝化，可同时去碳脱氮；当污水进入好氧池时，有机物浓度已很低，聚磷菌主要是靠分解体内储存的PHB来获得能量供自身生长繁殖，同时超量吸收水中的溶解性磷以聚磷酸盐的形式储存在体内，经过沉淀，将含磷高的污泥从水中分离出来，达到除磷的效果。由于在好氧池中有机物浓度很低，十分有利于自养型硝化细菌的生长繁殖。好氧池混合液在二次沉淀池中进行泥水分离，上清液排放，沉淀污泥一部分回流至厌氧池，一部分作为剩余污泥经后续处理后进行处置。此工艺具有较好的除磷效果，但它的脱氮能力是依靠回流比来保证的，为了达到较高的总氮去除率，就必须要有较高的污泥及混合液回流比。

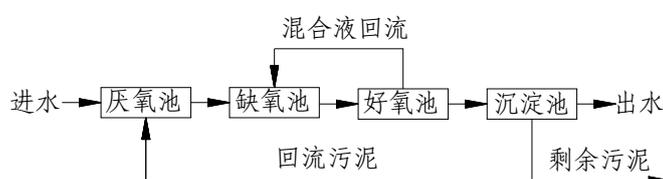


图5 传统 A/A/O 工艺

2.3.5 倒置 A/A/O 工艺

与常规A/A/O工艺相比，倒置A/A/O工艺省去了混合液内回流，适当加大了污泥回流比，其工艺流程如图6所示。倒置A/A/O工艺在厌氧池之前设缺氧反应池，来自二沉池的回流污泥和进水进入该池，活性污泥利用进水中的有机物和活性污泥本身的有机物（内源反硝化）彻底去除回流污泥中的硝态氮。在倒置的A/A/O方式下，碳源问题仍然存在，并造成聚磷菌的释磷水平明显低于常规的A/A/O方式。但在该方式中，由于硝酸盐在前面的缺氧区已经消耗殆尽，消除了硝态氮对后续厌氧池的不利影响，从而保证厌氧池的稳定性和生物除磷效果，并且微生物厌氧释磷后直接进入生化效率较高的好氧环境，使其在厌氧条件下形成的吸磷动力得到了更有效的利用。美国德州大学阿灵顿分校于1981至1990年间采用倒置A/A/O工艺进行了多次脱氮除磷小试和中试试验。Qasim等人对传统活性污泥法、缺氧-好氧法和缺氧-厌

氧-好氧法对氮磷的去除效果进行了评价，结果显示缺氧-厌氧-好氧法对BOD、TSS、氮和磷的去除效果比其它两种工艺都要好。

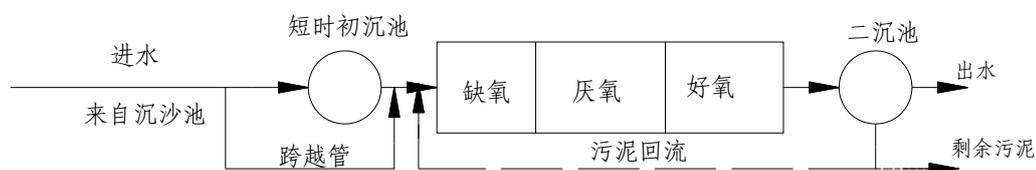


图6 倒置 A/A/O 工艺

2.3.6 UCT/MUCT/VIP 工艺

A/A/O工艺中回流污泥中很难保证不含有硝酸盐及亚硝酸盐，为了彻底排除在磷释放池内硝酸盐及亚硝酸盐的干扰，南非开普敦大学 (University of Cape Town) 在1983年提出UCT工艺（见图7）。UCT工艺不是将污泥回流到磷释放池，而是回流到其后的反硝化池。在反硝化池内排除硝酸盐及亚硝酸盐后，再引入磷释放池与原污水混合。

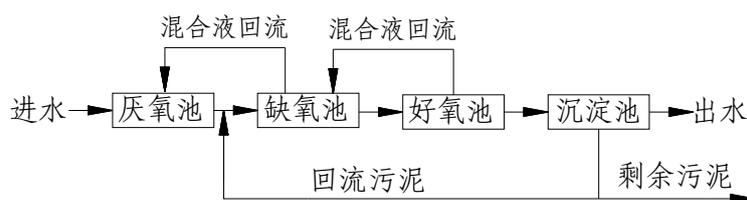


图7 UCT 工艺

与A/A/O工艺相比，UCT工艺在适当的COD/TKN比例下，缺氧区的反硝化可使厌氧区回流混合液中硝酸盐含量接近于零。当进水TKN/COD较高时，缺氧区无法实现完全的脱氮，仍有部分硝酸盐进入厌氧区，因此又产生改良UCT工艺——MUCT工艺（见图8）。MUCT工艺有两个缺氧池，前一个接受二沉池回流污泥，后一个接受好氧区硝化混合液，使污泥的脱氮与混合液的脱氮完全分开，进一步减少硝酸盐进入厌氧区的可能。深圳市南山污水处理厂采用了以MUCT生化单元为主体的除磷脱氮工艺，该工艺对污水水质（碳氮比）的变化适应能力强，运行管理灵活，既可按MUCT方式运行，也可以A/A/O工艺和改良A/A/O工艺运行。

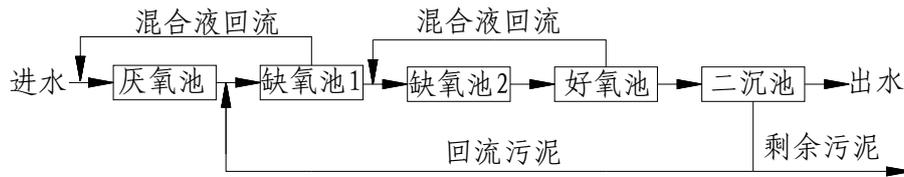


图8 MUCT工艺

当UCT工艺作为阶段反应器在水力停留时间较短和低泥龄下运行时在美国被称为VIP (Virginia Initiative Process, 1987)工艺。VIP工艺与UCT工艺非常类似，差别在于：VIP工艺反应池由多个完全混合型反应格组成，采用分区方式，每区由2~4格组成，泥龄4~12d，工艺过程的典型水力停留时间为6~7h；而UCT工艺中厌氧、缺氧、好氧区是单个反应器，每个反应区都是完全混合的，泥龄13~25d，通常 ≥ 20 d，工艺过程的典型水力停留时间为24h。青岛李村河污水处理厂采用A/O工艺与VIP工艺相结合的综合处理工艺，该组合工艺具有非常强的运行灵活性，通过改变回流点、进水方式和运行参数，可以按A/O、A/A/O、UCT、MUCT、VIP等工艺方式运行，以适应不同的水质特性、环境条件和处理要求，适应性强，稳定性好。

2.3.7 JHB工艺

1991年，Pitman等人提出Johannesburg (JHB)工艺，该工艺是在A/A/O工艺到厌氧区污泥回流线路中增加了一个缺氧池（见图9），这样，来自二沉池的污泥可利用33%左右进水中的有机物作为反硝化碳源去除硝态氮，以消除硝酸盐对厌氧池厌氧环境的不利影响。

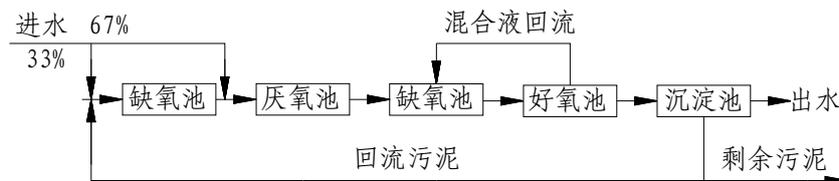


图9 JHB工艺

2.3.8 TNCU工艺

台湾中央大学的研究人员将传统A/A/O工艺进行改造，通过在反应池内加入生物转盘可缩短硝化段停留时间，从而缓解脱氮与除磷污泥停留时间之间的矛盾，该工艺被称为TNCU工艺（见图10）。台湾分别在雪霸国家公园和垦丁国家公园建造了两座污水处理厂，均采用这种改良的A/A/O工艺，用于处理这两个区域的污水。

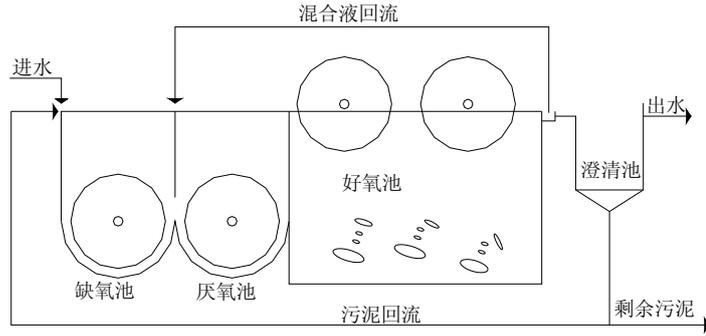


图 10 TNCU 工艺

2.3.9 Dephanox/BCFS

生物除磷的基础是聚磷菌在厌氧状态下释放磷，在好氧状态下大量吸收磷。但是在实际的A/A/O系统中，发现混合液中磷的浓度经缺氧区之后降低了50%以上。这说明，聚磷菌在缺氧状态下亦能大量吸收磷。后来的一系列实验也证明，聚磷菌在分解有机物为大量吸收磷获取能量的过程中，可以以 NO_3^- 为最终电子受体，即聚磷菌也能进行反硝化。目前已出现基于这一现象的两种最新脱氮除磷工艺：Dephanox工艺和BCFS工艺。Dephanox工艺的流程如图11；BCFS工艺的流程如图12所示。

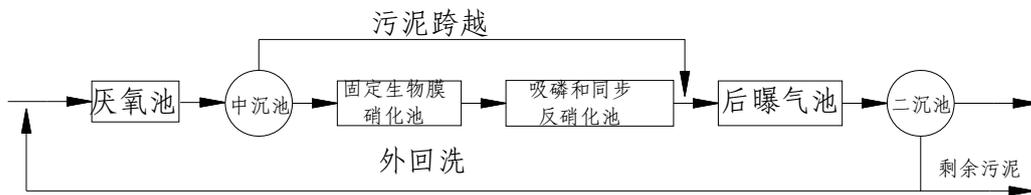


图 11 Dephanox 工艺

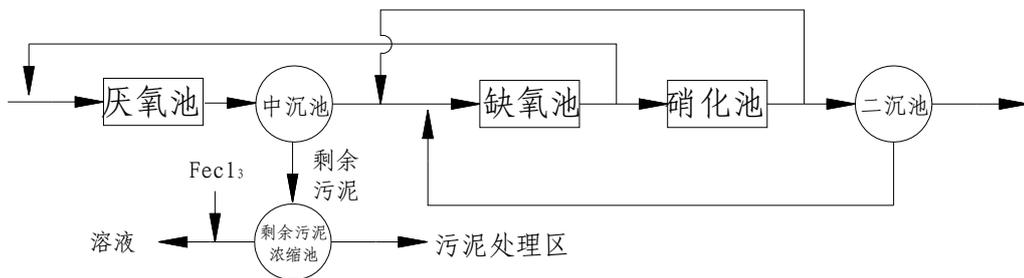


图 12 BCFS 工艺

这两个工艺特别适于反硝化聚磷菌的繁殖，实现脱氮与除磷的有机结合。

3 规范的主要内容说明

本规范包括正文和附录两部分，其中正文部分共分十章，包括规范的适用范围、规范性

引用文件、术语和定义、一般规定、设计流量和设计水质、A/A/O 工艺设计、检测与控制、电气系统、施工与验收、运行与维护。附录为规范性附录。下面就规范中的几个主要方面作说明。

3.1 A/A/O 工艺的适用性

理论上 A/A/O 工艺可应用于所有适用活性污泥法的污、废水处理。A/A/O 构筑物分为厌氧池、缺氧池和好氧池，通过厌氧区、缺氧区和好氧区的各种组合以及不同的污泥回流方式来达到氮磷的同时高效去除。综合考虑 A/A/O 工艺更适用于以下各种废水的处理：

(1) 大中城镇生活污水和水质类似生活污水的厂矿企业的工业废水处理，否则应根据进水水质情况采取相应的前处理措施；

(2) 可根据污水处理出水水质要求不同选用不同的变形工艺和不同的组合，适用于污水处理除磷脱氮；

(3) A/A/O 系统可达到 GB18918 一级 A 的标准，符合再生水处理进水要求；

3.2 A/A/O 的适用处理规模

A/A/O 工艺的操作、管理、维护非常方便，运行效果稳定。因此，本规范规定 A/A/O 工艺的适用范围为“大中型污水处理设施”。当然，也可用于小型污水处理厂。

3.3 设计流量和设计水质

对于以生活污水为主的污水处理设施的设计流量和设计水质的各参数的确定，本规范引用了 GB 50014—2006 中的相应规定。

对于工业废水处理，在市场经济环境下多数企业都是以销定产，根据市场的需求决定生产量，废水波动性很大，同时由于同一生产线，产品不同产生的废水水量水质均可能差别很大，因此对于以工业废水为主的污水处理设施的设计水量水质参数要做实际调查和测定。

原有企业的废水处理设施新建和改扩建工程，要根据实际生产中的水质水量的排放规律来确定工程设计水量、水质及其变化系数；新建工程，可以参考同类产品生产企业的废水相关数据进行确定。由于企业所处地域、水资源条件等外界因素不同，废水水质水量会有较大变化，建议 A/A/O 主体工程按日平均水量水质设计，进水、预处理设施及管道按日平均水量乘最大变化系数设计。

工业园区合建的处理设施的设计水质水量，要考虑所有需处理的企业废水的排放规律以及整体规划与中近期规划等因素，确定分期工程的设计水量、水质。

由于工业废水的情况很复杂，因此本规范中建议，以工业废水为主的工程需要做细致的调查研究工作，根据实际情况确定废水水质水量。

污水好氧生化处理，进水 BOD_5/COD 宜大于等于 0.3。有的工业废水或含工业废水较多的城市污水 BOD_5/COD_{Cr} 小于 0.3，为提高此类污水的好氧可生化性，可采取水解酸化

—A/A/O 工艺组合。

3.4 预处理的选择

(1) 规定设置格栅的要求。

在污水中混有纤维、木材、塑料制品和纸张等大小不同的杂物，为了防止水泵、处理构筑物的机械设备和管道被磨损或堵塞，使后续处理流程顺利进行，必须设置格栅。格栅的技术要求参照 GB 50014—2006 条文说明 6.3 格栅的规定。

(2) 设置沉砂池的规定。

由于污水中含有相当数量的砂粒等杂质，砂粒容易在 A/A/O 池内沉积。为避免 A/A/O 主体处理构筑物 and 机械设备的磨损，减少管渠和处理构筑物内的沉积；防止对生物处理系统和污泥处理系统运行的干扰，污水处理厂(站)应设置沉砂池。沉砂池技术要求参照 GB 50014—2006 条文说明 6.4 沉砂池的规定。A/A/O 系统比其它工艺对沉砂池的处理效果要求更高。

(3) 沉淀池的设置。

一般情况下，污水经格栅、沉砂池处理后仍含有相当数量的可沉性悬浮物杂质。国内许多工程实践表明，在进水 SS 不高时，上述杂质对以 A/A/O 法为主体工艺的市政污水处理设施的处理效果没有明显的影响。本规范建议市政污水处理工程可不设置初次沉淀池。初沉池技术要求参照 GB50014—2006 条文说明 6.5 沉淀池的规定。

A/A/O 系统均需设置二沉池。二沉池技术要求参照 GB50014—2006 条文说明 6.5 沉淀池的规定。

3.5 普通 A/A/O 工艺设计参数

3.5.1 A/A/O 反应池总容积

A/A/O 进水水温最佳为 10~25°C, pH 值宜为 6.5~9, 有害物质禁止超过规定的允许浓度。当出水要求硝化和反硝化时， BOD_5/TKN 宜在 3~5 之间，并根据总氮确定适宜的碱度。当采取生物除磷时， BOD_5/TP 应大于 20。

A/A/O 的设计计算方法与其它活性污泥工艺相类似，即应用负荷方法（经验方法）和动力学方法。A/A/O 所采用的负荷值与反应器的温度、废水的性质和浓度有关。对某种特定废水，A/A/O 的负荷一般应通过试验确定，也可参考同类型的废水处理资料。在 A/A/O 设计中除了要考虑碳源污染的去，还要考虑污水的硝化和污泥的稳定性问题。去除碳源时 A/A/O 的容积计算，采用应用负荷方法（经验方法）时，应用公式 4。

A/A/O 内碳源基质去除动力学与活性污泥法的动力学完全一致。设计计算可应用公式 4。

A/A/O 内脱氮时动力学与活性污泥法的动力学完全一致。设计计算可应用公式 8 至 13。混合液回流可应用公式 14。

除磷时厌氧池的容积一般是按停留时间 1~2 小时计算，可应用公式 3。

A/A/O 系统应考虑以下几个过程的需氧量：氧化有机物的需氧量、系统内细胞内源呼吸

需氧量、硝化过程的需氧量、脱氮过程的产氧量。计算可应用公式 15。计算时应将污水实际需氧量换算成标准状态下污水需氧量。

3.5.2 需氧量和剩余污泥量计算

本规范参照 GB 50014—2006 中的相关规定，引用曝气阶段需氧量，标准状态需氧量，剩余污泥量等计算公式，及公式中主要参数的选值。

3.6 A/A/O 工艺的曝气设备

曝气设备的功能有三：

供氧

防止活性污泥沉淀

使有机物、微生物及氧三者充分混合、接触

A/A/O 常用的曝气设备主要为中微孔曝气系统。

中、微孔曝气器的技术指标参见 HJ/T252-2006，如表所示。

表 9 曝气器的技术指标

技术指标	增强PVC软管型	橡胶膜盘型	陶瓷刚玉板型	钛板型
氧利用率，%	≥17	≥20	≥20	≥20
充氧能力，kgO ₂ /h	≥0.10	≥0.13	≥0.13	≥0.13
理论动力效率， kgO ₂ /kW·h	≥4.0	≥4.5	≥5.0	≥5.0
曝气器阻力损失，Pa	≤3000	≤3500	≤5000	≤4000

3.7 搅拌装置

为了使厌氧池、缺氧池内的污泥与进水充分混合，应在厌氧池和缺氧池内设置混合型潜水搅拌机。

搅拌器的功率与布置方式应保证污泥与进水的充分混合，可以根据试验确定或由供货厂方提供确定搅拌器的布置方式。

3.8 监测与运行管理

本规范对 A/A/O 工艺运行，运行监测，设备管理等共性问题作出了规定。

3.8.1 检测和控制

采用 A/A/O 工艺的污水处理工程应参照 CJJ 60 的有关规定，建立完善的检测控制系统，一般检测系统主要包含在线监测、现场监测和实验室检测等组成。为保证设施正常运行和处理效果，及时发现异常现象，应按照污水处理系统运行操作规程规定的检测项目、检测频率和取样点等进行操作和管理。监测项目一般包括水温、pH、浊度、DO、COD、BOD₅ 等。

3.8.2 运行管理

A/A/O 工艺是活性污泥法的一种改型，因此活性污泥法总的运行操作条件对 A/A/O 都适用，其基本操作参照污水处理厂（站）的运行管理 CJJ 60 执行。而 A/A/O 又有其具有独特的操作特性，对 A/A/O 污水处理厂（站）的全面控制有赖于对生物菌群和 DO 的控制。

DO 的控制

DO 是影响有机物去除效果的一个重要因素。特别是在以除磷脱氮为目的的情况下，DO 的浓度控制显得尤为重要。反应池各段 DO 的控制范围为：厌氧池在 0.2mg / L 以下，缺氧池在 0.2~0.5 mg / L 之间，好氧池 DO 浓度宜为 2mg/L。

生物菌群的控制

要保持 A/A/O 稳定的运行，必须把可生物降解的有机物负荷维持在一个稳定的水平。

达到这一目的的最普通方法是控制有机物负荷（F/M）和污泥停留时间，这两个参数可以根据污水水质特性和温度变化的需要来调节。在系统运行过程中，污泥龄、回流比、混合液悬浮固体（MLSS）等参数对运行管理具有相当重要的指导意义。

（3）污泥观察与调节

活性污泥的性能主要从污泥的颜色、状态、气味、生物相以及上清液的透明度等方面表现出来，也可以通过检测 MLSS、混合液挥发性悬浮固体（MLVSS）、污泥沉降比（SV）、污泥指教（SVI）等参数反馈其性能。因此本规范在规定污泥管理中规定了需要观察或监测的项目。

混合液悬浮固体（MLSS）

混合液悬浮固体是指曝气池中污水和活性污泥混合后的混合悬浮固体数量，单位为 mg/L，也称混合液污泥浓度。它是计量曝气池活性污泥数量多少的指标。活性污泥法中，MLSS 一般为 2000~5000 mg/L。

混合液挥发性悬浮固体（MLVSS）

混合液挥发性悬浮固体是指混合液悬浮固体中有机物的重量，单位为 mg/L。在一般情况下，MLVSS / MLSS 的比值较固定，对于生活污水，常在 0.7~0.8 左右。对于工业废水，其比值因水质不同而异。

污泥沉降比（SV）

污泥沉降比是指曝气池混合液在 100mL 量筒中，静置沉淀 30min 后，沉淀污泥与混合液之体积比（%）。由于正常的活性污泥在静沉 30min 后，一般可以接近它的最大密度，故污泥沉降比可以反映曝气池正常运行时的污泥量，可用于控制剩余污泥的排放。它还能及时反映出污泥膨胀等异常情况，便于及早查明原因，采取措施。污泥沉降比测定比较简单，并能说明一定问题，因此它成为评定活性污泥的重要指标之一。

污泥指教（SVI）

污泥指数全称污泥容积指数，是指曝气池出口处混合液经 30min 静沉后，1g 干活泥所

占的容积以 ml 计。

SVI 值能较好地反映出活性污泥的松散程度（活性）和凝聚、沉淀性能，SVI 值过低，说明泥粒细小紧密，无机物多，缺乏活性和吸附能力。SVI 值过高，说明污泥难于沉淀分离，并使回流污泥的浓度降低，甚至出现“污泥膨胀”，导致污泥流失等后果。一般认为，生活污水的 SVI<100 时，沉淀性能良好；SVI 为 100~200 时，沉淀性能一般；SVI>200 时，沉淀性能不好。

污泥龄 (θ_c)

污泥龄是曝气池中的活性污泥总量与每日排放的剩余污泥量之比，单位是日，在运行稳定时，剩余污泥量也就是新增长的污泥量，因此污泥龄也就是新增长的污泥在曝气池中平均停留时间，或污泥增长一倍平均所需要的时间

(4) 机械设备的管理

污水处理厂想取得良好的处理效果，必须使各类设备经常处于良好的工作状况和保持应有的技术性能，正确操作、保养、维修设备是污水处理厂正常运转的先决条件。在《城市污水处理厂运行、维护及其安全技术规程》（CJJ60—94）中对设备常规管理有详细规定和要求，本规范要求按照 CJJ60—94 执行。

对于 A/A/O 的专用设备，要求管理人员要熟悉设备，仔细阅读产品的出厂说明书。在建立完善的管理制度的基础上，严格按照设备使用说明书上的要求进行操作维护保养。

4 实施本规范的管理措施建议

建议各级环境保护主管部门及相关监督管理部门，在环境影响评价、建设项目环境保护管理、排污许可证管理和日常环境监督管理等项工作中积极采用本规范，以加强对环境保护设施的监管。